REPRESENTAR E INTERVENIR

Ian Hacking

PAIDÓS
México
Buenos Aires
Barcelona

Universidad Nacional Autónoma de México

DIRECCIÓN DE LA COLECCIÓN
Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, UNAM

Título original en inglés: *Representing and Intervening*
Cambridge University Press, 1983

Traducción: Sergio Martínez

Diseño de cubierta: Margen Rojo / Ángel García Domínguez

1ª edición, 1996

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del "Copyright", bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo público.

© de la presente edición:
Universidad Nacional Autónoma de México
Coeditan: Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, UNAM;
Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM,
Circuito Mario de la Cueva, Ciudad de la Investigación en Humanidades
Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.
Ediciones Paidós Ibérica, S.A.,
Mariano Cubí, 92–08021 Barcelona, y
Editorial Paidós Mexicana, S.A.
Rubén Darío 118, 03510 Col. Moderna, México, D.F.
Tels.: 579–5922, 579–5113. Fax: 590–4361

ISBN: 968–853–329–7

Derechos reservados conforme a la ley

Impreso en México-Printed in Mexico

para Raquel

"realidad... ¡qué concepto!" S.V.

AGRADECIMIENTOS

Lo que sigue fue escrito cuando Nancy Cartwright, del Departamento de Filosofía de la Universidad de Stanford, estaba elaborando las ideas para su libro *How the Laws of Physics Lie*. Hay varios paralelos entre su libro y el mío. Ambos le restan importancia a la atribución de verdad a las teorías pero favorecen algunas entidades teóricas. Ella insiste en que sólo las leyes fenomenólogicas de la física llegan a la verdad, mientras que en la parte B, más adelante, yo hago hincapié en que la ciencia experimental tiene una vida más independiente de la teoría de lo que usualmente se acepta. Debo bastante a su examen de estos temas. Tenemos diferentes puntos de partida antiteóricos, ya que ella considera modelos y aproximaciones, mientras que yo hago énfasis en el experimento, pero convergemos en filosofías similares.

Mi interés en el experimento se desarrolló en una conversación con Francis Everitt, del Laboratorio de Física Hanson, en Stanford. Escribimos juntos un trabajo largo, "¿Qué viene primero, la teoría o el experimento?" Durante el curso de esta colaboración aprendí bastante de un talentoso experimentador con intereses amplios en la historia. (Everitt dirigió el proyecto *gyro*, que pronto pondrá a prueba la teoría general de la relatividad estudiando un giroscopio en un satélite. Es también el autor de *James Clerk Maxwell* y de numerosos ensayos del *Dictionary of Scientific Biography*.) Mi deuda a Everitt es especialmente notoria en el capítulo 9. Las secciones que se deben en gran parte a Everitt están marcadas como (E). Le agradezco también su esmerada lectura del texto final.

Richard Skaer, de Peterhouse, Cambridge, me introdujo a los microscopios cuando él estaba haciendo una investigación en el Laboratorio de Hematología de la Universidad de Cambridge, y así facilitó el camino al capítulo 2. Melissa Franklin, del Acelerador Lineal de Stanford, me enseñó acerca de PEGGY II y así me proveyó con el núcleo del material del capítulo 16. Finalmente le agradezco a la revisora de la editorial, Mary Hesse, por una serie de sugerencias perspicaces.

El capítulo 2 es del *Pacific Philosophical Quarterly*, 1981, pp. 305–322. El capítulo 16 es una adaptación de un artículo en *Philosophical Topics*,

no. 2, 1982. Partes de los capítulos 10, 12 y 13 son adaptaciones de *Versuchungen: Aufsätze zur Philosophie Paul Feyerabends*, Peter Duerr (ed.), Suhrkamp, Frankfurt, 1981, tomo 2, pp. 126–158. El capítulo 9 utiliza partes de mi artículo en coautoría con Everitt, y el capítulo 8 desarrolla mi reseña de Lakatos, *British Journal for the Philosophy of Science*, no. 30, 1979, pp. 381–410. El libro empezó por la mitad, lo que he llamado *Intermedio*. Esto fue una plática con la que inauguré la conferencia de filosofía para estudiantes de Stanford-Berkeley, en abril de 1979. Todavía tiene señales de haber sido escrita en Delfos unas semanas antes.

ÍNDICE

Tabla analítica de contenido 11
Prefacio 17
Introducción: la racionalidad 19

PARTE A: REPRESENTAR

1. ¿Qué es el realismo científico? 39
2. Construir y causar 51
3. El positivismo 61
4. El pragmatismo 79
5. La inconmensurabilidad 87
6. La referencia 97
7. El realismo interno 115
8. Un sustituto de la verdad 137

Intermedio: lo real y las representaciones 157

PARTE B: INTERVENIR

9. El experimento 177
10. La observación 195
11. Los microscopios 215
12. Especulación, cálculo, modelos, aproximaciones 239
13. La creación de fenómenos 249
14. La medición 261
15. Temas baconianos 275
16. La experimentación y el realismo científico 291

Lecturas adicionales 305
Índice analítico 315

TABLA ANALÍTICA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN: LA RACIONALIDAD

La racionalidad y el realismo son los dos temas principales de los filósofos de la ciencia contemporáneos. Esto es, hay problemas acerca de la razón, la evidencia y el método, y hay preguntas acerca de lo que es el mundo, de lo que hay en él y de lo que es verdadero de él. Este libro trata de la realidad, no de la razón. La introducción es acerca de lo que este libro *no* va a tratar. Como preparación se resumen algunos problemas acerca de la racionalidad que surgieron del libro clásico de Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas*.

PARTE A: REPRESENTAR

1. ¿QUÉ ES EL REALISMO CIENTÍFICO?

El realismo acerca de las teorías dice que el objetivo de las teorías es la verdad, y que a veces se acercan a ella. El realismo acerca de las entidades dice que los objetos mencionados en las teorías deberían existir realmente. El antirrealismo acerca de las teorías dice que nuestras teorías no deben ser creídas literalmente, y que son, en el mejor de los casos, útiles, aplicables y buenas para hacer predicciones. El antirrealismo acerca de las entidades dice que las entidades postuladas por las teorías son, en el mejor de los casos, ficciones intelectuales útiles.

2. CONSTRUIR Y CAUSAR

J.J.C. Smart y otros materialistas dicen que las entidades teóricas existen si forman parte de los elementos a partir de los cuales está construido el

universo. N. Cartwright sostiene la existencia de aquellas entidades cuyas propiedades causales son bien conocidas. Ninguno de estos realistas acerca de las entidades tiene por qué ser un realista acerca de las teorías.

3. EL POSITIVISMO

Los positivistas como A. Comte, E. Mach y B. van Fraassen son antirrealistas acerca de las teorías y acerca de las entidades. Sólo las proposiciones cuya verdad puede ser establecida por medio de observaciones son creíbles. Los positivistas dudan de conceptos tales como causalidad y explicación. Sostienen que las teorías son instrumentos para la predicción de fenómenos y para la organización de nuestros pensamientos. Se elabora una crítica de la "inferencia hacia la mejor explicación".

4. EL PRAGMATISMO

C.S. Peirce dijo que algo es real si una comunidad de investigadores terminan poniéndose de acuerdo en que existe. Él pensaba que la verdad es lo que el método científico termina por asentar, si la investigación continúa lo suficiente. W. James y J. Dewey hacen menos hincapié en lo que sucede a la larga, y más en aquello que ahora nos hace sentir cómodos al creerlo y hablar de ello. De los filósofos recientes, H. Putnam se pone del lado de Peirce, mientras que Rorty se inclina por James y Dewey. Éstos son dos tipos de antirrealismo.

5. LA INCONMENSURABILIDAD

T.S. Kuhn y P. Feyerabend dijeron en una ocasión que las teorías que compiten entre sí no pueden compararse viendo cuál encaja mejor con los hechos. Esta idea refuerza un tipo de antirrealismo. Hay aquí por lo menos tres ideas. La incomensurabilidad temática: las teorías pueden traslaparse sólo parcialmente, por lo que uno no puede comparar sus éxitos globalmente. La disociación: después de un tiempo suficiente y de un cambio de teoría, una visión del mundo puede ser casi totalmente ininteligible para una época posterior. La inconmensurabilidad por significado: algunas ideas acerca del lenguaje implican que las teorías rivales son siempre mutuamente in-

comprensibles y nunca traducibles una a la otra, por lo que la comparación racional de teorías es en principio imposible.

6. La referencia

H. Putnam tiene una teoría del significado de "significado" que evita la inconmensurabilidad por significado. Los éxitos y los fracasos de esta idea se ilustran con relatos sobre la referencia de términos tales como: gliptodonte, electrón, ácido, calórico, muón, mesón.

7. El realismo interno

La teoría del significado empezó como un tipo de realismo, pero se ha vuelto más y más pragmática y antirrealista. Estos cambios se describen y se comparan con la filosofía de Kant. Tanto Putnam como Kuhn se acercan a lo que puede llamarse nominalismo trascendental.

8. Un sustituto de la verdad

I. Lakatos elaboró una metodología de los programas de investigación científica como un antídoto contra Kuhn. Parece una teoría de la racionalidad, pero es más bien una explicación de cómo la objetividad científica no tiene por qué depender de una teoría correspondentista de la verdad.

Intermedio: lo real y las representaciones

Este capítulo es una fantasía antropológica acerca de las ideas de realidad y representación desde los habitantes de las cavernas hasta H. Hertz. Es una parábola que pretende mostrar por qué el debate entre realistas y antirrealistas queda siempre inconcluso al nivel de la representación. Por ello, pasamos de la verdad y la representación a la experimentación y la manipulación.

PARTE B: INTERVENIR

9. EL EXPERIMENTO

La teoría y el experimento tienen diferentes relaciones en diferentes ciencias y en diferentes estadios de desarrollo. No hay una respuesta única a la pregunta: "¿Qué viene primero, el experimento, la teoría, la invención, la tecnología, . . . ?" Se extraen ilustraciones de la óptica, la termodinámica, la física del estado sólido y la radioastronomía.

10. LA OBSERVACIÓN

N.R. Hanson sugirió que todos los enunciados observacionales están cargados de teoría. De hecho, la observación no es una cuestión de lenguaje, y es una habilidad. Algunas observaciones son íntegramente previas a la teoría. El trabajo de C. Herschel en astronomía y el de W. Herschel sobre el calor radiante se emplean para ilustrar trivialidades acerca de la observación. Lejos de ser visión sin apoyo, con frecuencia hablamos de observar cuando no "vemos" literalmente sino que usamos información transmitida por objetos postulados por las teorías.

11. LOS MICROSCOPIOS

¿Vemos con el microscopio? Hay muchos tipos de microscopios que utilizan las propiedades de la luz de diferentes maneras. Creemos en lo que vemos en gran parte porque sistemas físicos muy diferentes nos proporcionan la misma imagen. Incluso "vemos" con un microscopio acústico que utiliza sonido en lugar de luz,

12. ESPECULACIÓN, CÁLCULO, MODELOS, APROXIMACIONES

No hay sólo una actividad, teorizar. Hay varios tipos y niveles de teorías, que se relacionan de diferentes maneras con el experimento. La historia del experimento y de la teoría del efecto magneto-óptico ilustra este hecho. Las ideas de N. Cartwright acerca de los modelos y las aproximaciones ilustran adicionalmente las variedades de la teoría.

13. La creación de fenómenos

Muchos experimentos crean fenómenos que no existían previamente en estado puro en el universo. Hablar de la repetición de experimentos es engañoso. No es que los experimentos se repitan, sino que se van mejorando hasta que los fenómenos pueden generarse regularmente. Algunos efectos electromagnéticos ilustran esta creación de fenómenos.

14. La medición

La medición desempeña diferentes funciones en la ciencia. Hay mediciones para contrastar teorías, pero hay también determinaciones puras de las constantes de la naturaleza. T.S. Kuhn también tiene una teoría importante acerca del papel funcional inesperado que representa la medición en el crecimiento del conocimiento.

15. Temas baconianos

F. Bacon escribió la primera taxonomía de los tipos de experimentos. Predijo que la ciencia sería la colaboración de dos habilidades diferentes: la racional y la experimental. De esta manera respondió a la pregunta de Feyerabend: "¿Qué es tan importante en la ciencia?" Bacon tiene una buena relación de experimentos cruciales, en la que resulta claro que no son decisivos. Un ejemplo de la química muestra que en la práctica no podemos, en general, introducir hipótesis auxiliares para rescatar teorías refutadas por experimentos cruciales. La descripción incorrecta que hace I. Lakatos del experimento de Michelson y Morley se utiliza para ilustrar la manera en que la teoría puede deformar la filosofía del experimento.

16. La experimentación y el realismo científico

La experimentación tiene una vida propia que interactúa con la especulación, el cálculo, la construcción de modelos, la invención y la tecnología de diferentes maneras. Pero mientras que el especulador, el calculista y el constructor de modelos pueden ser antirrealistas, el experimentador debe ser un realista. Esta tesis se ilustra por medio de una descripción detallada de un mecanismo que produce haces concentrados de electrones polariza-

dos, que se utilizan para demostrar violaciones a la paridad en interacciones de corriente débil. Los electrones se convierten así en herramientas cuya realidad se da por supuesta. No es pensar acerca del mundo, sino cambiarlo, lo que al final tiene que hacernos realistas científicos.

PREFACIO

Este libro tiene dos partes. Se puede empezar a leer por la segunda parte, *Intervenir*. Es acerca de experimentos. Han sido descuidados durante tanto tiempo por los filósofos de la ciencia que lo que se escriba sobre ellos tiene que ser novedoso. Los filósofos comúnmente piensan acerca de teorías. *Representar* es acerca de teorías, y por lo tanto es una descripción parcial de trabajos con los que están familiarizados los filósofos. Los últimos capítulos de la parte *A* les pueden interesar sobre todo a los filósofos, mientras que algunos de la parte *B* serán más llamativos para alguien con una inclinación científica. Escoja: la tabla analítica de contenido dice qué hay en cada capítulo. El orden de los capítulos es deliberado, pero no tienen que leerse en ese orden.

Los llamo temas introductorios. Esto es lo que literalmente son para mí. Fueron los temas que traté en mi curso anual introductorio de filosofía de la ciencia en la Universidad de Stanford. Por "introductorio" no quiero decir simplificado. Los temas introductorios deberían ser claros y lo suficientemente serios para atraer a alguien para quien resulten novedosos, y también suficientemente abrasivos para sacarles chispas a quienes hayan pensado por años sobre estas cosas.

INTRODUCCIÓN: LA RACIONALIDAD

> ¿Me pregunta usted qué cosas son idiosincrasia en los filósofos?... Por ejemplo: su falta de sentido histórico, su odio a la noción misma de devenir, su egipcismo.
>
> Ellos creen mostrar *respeto* por una cosa cuando la deshistorizan —cuando hacen de ella una momia.
>
> F. Nietzsche, *Crepúsculo de los ídolos*, "La 'razón' en la filosofía", capítulo 1.

Durante mucho tiempo los filósofos hicieron de la ciencia una momia. Cuando finalmente desenvolvieron el cadáver y vieron los restos de un proceso histórico de devenir y descubrimiento, crearon para sí la crisis de la racionalidad. Esto sucedió alrededor de 1960.

Fue una crisis porque sacudió nuestra antigua costumbre de pensar que el conocimiento científico es el pináculo de la razón humana. Los escépticos siempre han desafiado el cómodo panorama de un conocimiento humano acumulativo, pero ahora cargaron sus armas con los detalles de la historia. Después de mirar muchos de los sórdidos incidentes en la investigación científica del pasado, algunos filósofos empezaron a preocuparse por qué ha sido tan importante el papel de la razón en confrontaciones intelectuales. ¿Es la razón lo que decide qué teoría se acerca a la verdad, o qué investigación proseguir? Resultó no estar nada claro que la razón *deba* jugar un papel en tales decisiones. Algunas personas, quizás aquellos que ya sostenían que la moral es relativa y dependiente de la cultura, sugirieron que "la verdad científica" es un producto social que no tiene ningún título de validez absoluta y ni siquiera de pertinencia.

A partir de esta crisis de confianza, la racionalidad ha sido un tema obsesivo para los filósofos de la ciencia. Nos preguntamos: ¿Qué es lo que realmente sabemos? ¿Qué deberíamos creer? ¿Qué es la evidencia? ¿Qué son buenas razones? ¿Es la ciencia tan racional como la gente pensaba? ¿Es todo este hablar acerca de razones una pura cortina de humo para los

tecnócratas? Tales preguntas acerca de la racionalidad y la creencia son tradicionalmente llamados lógica y epistemología. Este libro *no* trata acerca de eso.

El realismo científico es el otro tema principal. Nos preguntamos: ¿Qué es el mundo? ¿Qué clase de cosas hay en él? ¿Qué es verdadero acerca de estas cosas? ¿Qué es la verdad? ¿Son reales las entidades postuladas por la física teórica, o sólo son construcciones de la mente humana? Éstas son preguntas acerca de la realidad. Son preguntas metafísicas. En este libro se emplean para organizar mis temas introductorios a la filosofía de la ciencia.

Controversias acerca de la razón y la realidad han polarizado a los filósofos de la ciencia. Los argumentos están a la orden del día, ya que la mayoría de los debates filosóficos acerca de la ciencia natural ahora giran alrededor de una u otra. Pero ninguno de los dos es nuevo. Ambos se pueden encontrar en la Grecia antigua, en donde empezó el filosofar acerca de la ciencia. Yo he escogido el realismo, pero la racionalidad hubiera sido también una buena elección. Los dos están entrelazados. Concentrarse en uno no es excluir al otro.

¿Son importantes este tipo de preguntas? Lo dudo. Queremos saber qué es realmente real y qué es realmente racional. Aun así, se verá que dejo de lado muchas preguntas acerca de la racionalidad y que soy un realista sobre la base más pragmática. Esta actitud no disminuye mi respeto por las profundidades de nuestra necesidad de la razón y de la realidad, ni el valor de cada una de esas ideas como punto de partida.

Hablaré acerca de lo que es real, pero antes de arrancar trataremos de ver cómo surgió una "crisis de racionalidad" en la filosofía de la ciencia reciente. Esto podría ser la "historia de un error". Es la historia de cómo inferencias ligeramente fuera de lugar fueron derivadas de trabajos de primera magnitud.

Preocupaciones acerca de la razón afectan muchas corrientes de la vida contemporánea, pero, en lo que concierne a la filosofía de la ciencia, empezaron a tomarse en serio con un famoso enunciado publicado hace veinte años:

> Si se considera la historia algo más que un depósito de anécdotas o cronología, puede producir una transformación decisiva de la imagen que poseemos actualmente de la ciencia.

Transformación decisiva–anécdotas o cronología–imagen de la ciencia–poseemos: éstas son las primeras palabras del famoso libro de Thomas

Kuhn *La estructura de las revoluciones científicas*. El libro mismo produjo una transformación decisiva e inintencionalmente inspiró una crisis de racionalidad.

UNA IMAGEN DIVIDIDA

¿Cómo podría la historia producir una crisis? En parte como consecuencia de la previa imagen momificada de la ciencia. Al principio no parece que hubiera habido una imagen única. Tomemos a algunos de los filósofos principales a manera de ilustración. Rudolf Carnap y Karl Popper empezaron sus carreras en Viena y huyeron de ahí en la década de los treinta de este siglo. Carnap, en Chicago y Los Ángeles, y Popper, en Londres, montaron el escenario para muchos debates posteriores.

Estaban en desacuerdo acerca de muchas cosas, pero sólo porque estaban de acuerdo en cuestiones básicas. Pensaban que las ciencias naturales son grandiosas, y que la física es la mejor: ejemplifica la racionalidad humana. Sería bueno tener un criterio que nos permitiera distinguir la buena ciencia del mal sinsentido o de la especulación deforme.

Aquí entra el primer desacuerdo: Carnap pensaba que es importante hacer la distinción en términos de lenguaje, mientras que Popper pensaba que el estudio de significados no es pertinente para entender la ciencia. Carnap decía que el discurso científico es significativo; que el habla metafísica no lo es. Las proposiciones significativas deben ser *verificables* en principio, o de lo contrario no nos dicen nada acerca del mundo. Popper pensaba que la verificación va desencaminada, porque las teorías científicas importantes nunca pueden verificarse. Abarcan demasiado como para que esto sea posible. Pueden, sin embargo, contrastarse, e incluso puede mostrarse que son falsas. Una proposición es científica si es *falsable*. En opinión de Popper, no es tan malo ser precientíficamente metafísico, ya que la metafísica es con frecuencia la madre especulativa de la ciencia falsable.

La diferencia revela aquí otra diferencia más profunda. La verificación para Carnap es de abajo para arriba: hagamos observaciones y veamos cómo van adquiriendo sentido para confirmar o verificar un enunciado más general. La falsabilidad de Popper es de arriba para abajo. Primero formamos una conjetura teórica, y entonces deducimos consecuencias y las contrastamos para ver si son verdaderas.

Carnap escribe dentro de una tradición que es común desde el siglo XVII, una tradición que habla de las "ciencias inductivas". Originalmente esto quería decir que el investigador debe hacer observaciones precisas, llevar

a cabo experimentos con cuidado y registrar honestamente los resultados; entonces se hacen generalizaciones y se extraen analogías y gradualmente se da forma a hipótesis y teorías, desarrollando todo el tiempo nuevos conceptos para organizar y dar sentido a los hechos. Si las teorías se sostienen para una contrastación subsiguiente, entonces sabemos algo acerca del mundo. Podemos incluso llegar a las leyes subyacentes en la naturaleza. La filosofía de Carnap es una versión del siglo veinte de esta actitud. Él pensaba que nuestras observaciones son los fundamentos de nuestro conocimiento, y dedicó los últimos años de su vida a tratar de inventar una lógica inductiva que explicara cómo las pruebas observacionales podrían apoyar hipótesis de gran aplicación.

Existe una tradición más temprana. El viejo racionalista Platón admiraba la geometría y no tenía en tan alta estima la metalurgia, la medicina o la astronomía de su tiempo. Este respeto por la deducción se interiorizó en las enseñanzas de Aristóteles de que el conocimiento verdadero —la ciencia— es cuestión de derivar consecuencias a partir de los primeros principios por medio de demostraciones. Justamente, Popper aborrece la idea de primeros principios, pero es común llamarlo deductivista. Esto se debe a que él piensa que hay sólo una lógica: la lógica deductiva. Popper está de acuerdo con David Hume, quien en 1739 proponía vehementemente que a lo mucho tenemos una propensión psicológica a generalizar a partir de la experiencia. Esto no es ni razón ni base para nuestras generalizaciones inductivas; lo es tanto como la propensión de un joven a no creerle a su padre, es una razón para creerle al joven y no al viejo. De acuerdo con Popper, la racionalidad no tiene que ver con qué tan bien las pruebas "apoyan" nuestras hipótesis. La racionalidad es una cuestión de método; este método es conjetura y refutación. Formemos suposiciones de largo alcance acerca del mundo, deduzcamos consecuencias observables. Contrastemos para ver si son verdaderas. Si es así, procedamos a contrastarlas nuevamente. Si no pasan la contrastación, revisemos la conjetura o, mejor aún, inventemos otra nueva.

De acuerdo con Popper, podemos decir que una hipótesis que ha sido contrastada varias veces con éxito ha sido "corroborada". Pero esto no quiere decir que esté bien apoyada por las pruebas que hemos adquirido. Sólo significa que la hipótesis se ha mantenido a flote en los mares borrascosos de la contrastación crítica. Carnap, por otro lado, trató de elaborar una teoría de la confirmación, y analizó la manera como la evidencia hace más probables las hipótesis. Los popperianos se burlan de los carnapianos porque no han logrado producir una teoría aceptable de la confirmación. Los carnapianos en venganza dicen que el discurso de Popper sobre la co-

rroboración es vacío, o bien se trata de una manera velada de hablar acerca de la confirmación.

CAMPOS DE BATALLA

Carnap pensaba que los *significados* y una teoría del lenguaje eran importantes para la filosofía de la ciencia. Popper los desdeñaba como escolásticos. Carnap favorecía la *verificación* para distinguir la ciencia de lo que no es ciencia. Popper proponía la *falsabilidad*. Carnap trató de explicar las buenas razones desde el punto de vista de una teoría de la *confirmación*; Popper sostenía que la racionalidad consiste en el *método*. Carnap pensó que el conocimiento tiene *fundamentos*; Popper alegaba que no hay fundamentos y que todo nuestro conocimiento es *falible*. Carnap creía en la *inducción*; Popper sostenía que no hay otra lógica que la *deducción*.

Con todo esto parece que no hubiera una "imagen" tradicional de la ciencia en la década anterior a que Kuhn escribiera. Por el contrario: cuando encontramos a dos filósofos que se alinean en los extremos opuestos de media docena de cuestiones, sabemos que de hecho están de acuerdo en casi todo. Comparten una imagen de la ciencia, una imagen que Kuhn rechaza. Si dos personas están genuinamente en desacuerdo acerca de cuestiones importantes, no van a encontrar un campo común para disputar una por una cuestiones específicas.

BASE COMÚN

Popper y Carnap asumen que la ciencia natural es nuestro mejor ejemplo de un pensamiento racional. Agreguemos algunas otras creencias compartidas. Lo que hacen con estas creencias difiere; el asunto es que las comparten.

Ambos piensan que hay una distinción entre *observación* y *teoría*. Ambos piensan que el conocimiento es, en gran medida, *acumulativo*. Popper puede estar al acecho de refutaciones, pero piensa que la ciencia evoluciona y tiende hacia la teoría verdadera del universo. Ambos piensan que la ciencia tiene una *estructura deductiva* muy bien definida. Ambos sostienen que la terminología científica es, o debe ser, bastante *precisa*. Ambos creen en la *unidad de la ciencia*. Esto implica varias cosas. Todas las ciencias emplean el mismo método, por lo que las ciencias humanas tienen la misma metodología que la física. Es más, por lo menos las ciencias naturales son parte de una ciencia, y esperamos que la biología se reduzca a la química,

así como la química se reduce a la física. Popper llegó a pensar que por lo menos parte de la psicología y del mundo social no se reducía estrictamente al mundo físico, pero Carnap no tenía tales preocupaciones. Carnap fue el fundador de una serie de volúmenes titulada *La enciclopedia de la ciencia unificada*.

Ambos están de acuerdo en que hay una diferencia fundamental entre el *contexto de justificación* y el *contexto de descubrimiento*. Esta terminología se debe a Hans Reichenbach, un tercer filósofo distinguido emigrado de aquella generación. En el caso de un descubrimiento, los historiadores, los economistas, los sociólogos o los psicólogos se plantearán una serie de preguntas: ¿Quién hizo el descubrimiento? ¿Cuándo? ¿Fue una casualidad, una idea robada a alguien, o el producto de veinte años de incesante trabajo? ¿Quién pagó por la investigación? ¿Qué medio religioso o social ayudó u obstaculizó este desarrollo? Éstas son preguntas acerca del contexto de *descubrimiento*.

Examinemos ahora el producto final: una hipótesis, teoría o creencia. ¿Está razonablemente apoyada por las pruebas, confirmada por el experimento, corroborada por contrastaciones estrictas? Éstas son preguntas acerca de la *justificación* o la corrección. Los filósofos se preocupan por la justificación, la lógica, la razón, la validez, la metodología. Las circunstancias históricas del descubrimiento, sus giros psicológicos, sus interacciones sociales, el medio económico, no son del interés profesional de Popper y Carnap. Ellos utilizan la historia sólo con el propósito de establecer una cronología o de ilustrar por medio de anécdotas, exactamente como dijo Kuhn. Puesto que la concepción de la ciencia de Popper es más dinámica y dialéctica, congenia más con el historicista Kuhn que las meras formalidades del trabajo de Carnap sobre la confirmación, pero de una manera esencial, las filosofías de Carnap y de Popper son intemporales: están fuera del tiempo, fuera de la historia.

BORRANDO UNA IMAGEN

Antes de explicar por qué Kuhn disiente de sus antecesores, podemos fácilmente generar una lista de contrastes simplemente atravesando el campo común de Popper y Carnap y negando todo. Kuhn sostiene lo siguiente:

No hay una distinción precisa entre observación y teoría.

La ciencia no es acumulativa.

Una ciencia en desarrollo no tiene una estructura deductiva férrea.

Los conceptos científicos en uso no son particularmente precisos.

La unidad metodológica de la ciencia es falsa: hay muchas herramientas diferentes no relacionadas que se utilizan para diferentes tipos de indagaciones.

Las ciencias mismas no están unificadas. Están compuestas de un gran número de disciplinas reducidas que sólo se traslapan ligeramente, muchas de las cuales pueden llegar en el curso del tiempo a no ser mutuamente inteligibles. (Irónicamente, el famoso libro de Kuhn apareció en la moribunda serie *La enciclopedia de la ciencia unificada.*)

El contexto de justificación no puede separarse del contexto de descubrimiento.

La ciencia está en el tiempo, y es esencialmente histórica.

¿ESTÁ LA RAZÓN EN ENTREDICHO?

Hasta ahora he ignorado el primer punto en el que Popper y Carnap están de acuerdo, a saber, que la ciencia natural es el parangón de la racionalidad, la piedra angular de la razón humana. ¿Pensaba Kuhn que la ciencia es irracional? No exactamente. Esto tampoco quiere decir que la tomaba como "racional". No creo que tuviera mucho interés en el asunto.

Ahora pasaremos revista a algunos de los principales temas de Kuhn, no sólo para entender la negación de la lista de arriba, sino para ver de qué manera se relaciona esto con la racionalidad. No espere usted que él sea tan ajeno a sus antecesores como se podría pensar. Una oposición, punto por punto, entre filósofos indica un acuerdo en lo básico, y en ciertos aspectos Kuhn se opone punto por punto a Carnap-Popper.

LA CIENCIA NORMAL

La palabra más famosa de Kuhn es *paradigma*, sobre lo cual trataremos más adelante. Primero tenemos que pensar en la límpida estructura de la revolución de Kuhn: *ciencia normal, crisis, revolución, nueva ciencia normal.*

La tesis de la ciencia normal dice que una rama establecida de la ciencia se dedica en su mayor parte a modificaciones relativamente menores de la teoría corriente. La ciencia normal consiste en la *resolución de acertijos.* Casi ninguna teoría bien elaborada, sea sobre lo que sea, logrará encajar punto por punto con los hechos del mundo. "Cada teoría nace refutada."

A tales defectos en una teoría que de otra manera es atractiva y útil se los llama *anomalías*. Uno espera que por medio de modificaciones más bien menores la teoría pueda ser remendada hasta que llegue a explicar estos pequeños contraejemplos. Una parte de la ciencia normal se ocupa de la articulación matemática de la teoría, para que la teoría sea más inteligible, sus consecuencias más aparentes y su conexión con los fenómenos más intrincada. Gran parte de la ciencia normal es aplicación tecnológica. Parte de la ciencia normal es la elaboración de experimentos y la clarificación de hechos implicados por la teoría. Es también tarea de la ciencia normal el refinamiento de las mediciones de cantidades que la teoría dice que son importantes. Muchas veces el objetivo es simplemente la obtención de un número preciso por métodos ingeniosos, algo que se hace sin el objetivo de confirmar ni constrastar la teoría. La ciencia normal, es triste decirlo, no tiene como objetivo la confirmación, la verificación, la falsación o la tarea de proponer conjeturas y refutaciones. Lo que sí hace, por otra parte, es acumular constructivamente un cuerpo de conocimientos y conceptos en dominios particulares.

CRISIS Y REVOLUCIÓN

A veces las anomalías no desaparecen. Se acumulan. Algunas de ellas llegan a considerarse particularmente problemáticas. La energía de los miembros más activos de la comunidad de investigadores se concentra en ellas. Sin embargo, mientras más gente trabaja en las fallas de la teoría, las cosas van de mal en peor. Los contraejemplos se acumulan. Una perspectiva teórica entera se nubla. La disciplina está en *crisis*. Un resultado posible es un enfoque totalmente nuevo que utilice nuevos conceptos. Los fenómenos problemáticos son de repente inteligibles a la luz de estas nuevas ideas. Muchos trabajadores, quizas más a menudo los más jóvenes, se cambian a las nuevas hipótesis, aunque pueda haber algunos focos de resistencia de gente que no entienda los cambios radicales que están tomando lugar en su campo. Conforme la nueva teoría avanza, las viejas ideas se dejan de lado. Una revolución ha tenido lugar.

La nueva teoría, como cualquier otra, nace refutada. Una nueva generación de trabajadores se dedica a tratar de resolver las anomalías. Hay una nueva ciencia normal. Una vez más, resolución de acertijos, realización de aplicaciones, articulaciones matemáticas, elaboración de fenómenos experimentales, mediciones.

La nueva ciencia normal puede tener intereses muy diferentes del cuerpo de conocimientos que desplazó. Tomemos el ejemplo menos controvertible, a saber, la medición. La nueva ciencia normal puede escoger, medir otras cosas, y ser indiferente a las mediciones precisas de sus antecesores. En el siglo XIX los químicos analíticos trabajaron arduamente para determinar los pesos atómicos. Cada elemento era medido con una precisión de por lo menos tres lugares decimales. Hacia 1920, la nueva física hizo ver claramente que los elementos que aparecen naturalmente son mezclas de isótopos. En muchas aplicaciones todavía es útil saber que el cloro terrestre tiene un peso atómico de 35.453. Pero éste es un hecho más bien fortuito acerca de nuestro planeta. El hecho de fondo es que el cloro tiene dos isótopos estables, 35 y 37. (Éstos no son números exactos, debido a un factor adicional llamado energía de enlace.) Estos isótopos se mezclan aquí en la Tierra en las proporciones de 75.53% y 24.47%

LA "REVOLUCIÓN" NO ES NOVEDOSA

La idea de una revolución científica no es de Kuhn. Desde hace mucho tiempo tenemos la idea de una revolución copernicana, o de la "revolución científica" que transformó la vida intelectual en el siglo XVII. En la segunda edición de su *Crítica de la razón pura* (1787), Kant habla de la "revolución intelectual" por medio de la cual Tales, o algún otro filósofo antiguo, transformó las matemáticas empíricas en una ciencia demostrativa. Por cierto, la idea de la revolución en la esfera científica es coetánea de la de revolución política. Ambas se introdujeron con la Revolución Francesa (1789) y con la revolución en la química (digamos, 1785). Esto no fue el principio, por supuesto. Los ingleses habían tenido su "gloriosa revolución" (sin derramamiento de sangre) en 1688, al mismo tiempo que se hizo claro que una revolución científica ocurría también en las mentes de hombres y mujeres.[1]

Bajo la guía de Lavoisier, la teoría del flogisto de la combustión fue reemplazada por la teoría de la oxidación. Por esa época hubo, como Kuhn hace hincapié, una transformación total en muchos conceptos químicos, tales como mezcla, compuesto, elemento y sustancia. Para entender adecuadamente a Kuhn no debemos pensar en revoluciones grandes como ésas. Es mejor pensar en revoluciones pequeñas en la química. Lavoisier enseñaba que el oxígeno es el principio ácido, esto es, que cada ácido es un

[1] I.B. Cohen, "The Eighteenth Century Origin of the Concept of Scientific Revolution", *Journal for the History of Ideas*, no. 37, 1976, pp. 257–288.

compuesto del oxígeno. Uno de los ácidos más poderosos (antes y ahora) fue llamado ácido muriático. En 1774 se mostró cómo liberar un gas a partir de este ácido. El gas fue llamado ácido muriático desflogistado. Hacia 1811, Humphry Davy mostró que este gas es un elemento, a saber, el cloro. El ácido muriático es lo que ahora en lenguaje científico se conoce como ácido clorhídrico, HCl. No contiene oxígeno. De esta manera fue abandonada la concepción de Lavoisier de la acidez. En su tiempo este suceso fue considerado, y con razón, una revolución. Incluso tenía el rasgo kuhniano de que se quedaron algunos focos de resistencia de la escuela anterior. El gran químico analítico de Europa J.J. Berzelius (1779–1848) nunca reconoció públicamente que el cloro era un elemento, y no un compuesto del oxígeno.

La idea de la revolución científica de por sí no pone en entredicho la racionalidad científica. Hemos tenido la idea de revolución por largo tiempo, y aun así hemos sido buenos racionalistas, pero Kuhn sugiere la idea de que cada ciencia normal acarrea las semillas de su propia destrucción. Aquí hay una idea de revolución perpetua. Ni siquiera esto tiene por qué ser irracional. ¿Podría la idea de Kuhn de que la revolución constituye un cambio de "paradigmas" constituir el desafío a la racionalidad?

EL PARADIGMA COMO LOGRO

"Paradigma" ha sido una palabra en boga en los últimos veinte años, todo gracias a Kuhn. Es una palabra absolutamente antigua, importada directamente del griego al inglés hace 500 años. Significa patrón, ejemplar o modelo. La palabra tiene un uso técnico. Cuando se aprende un lenguaje extranjero, uno aprende de memoria, por ejemplo, cómo conjugar el verbo *amare* (amar) como *amo, amas, amat*..., y a conjugar entonces todos los verbos de esa clase siguiendo ese modelo, llamado paradigma. Un santo, según el cual podríamos modelar nuestras vidas, era también llamado un paradigma. Ésta es la palabra antigua que Kuhn rescató de la oscuridad.

Se ha dicho que Kuhn utiliza la palabra "paradigma" de 22 maneras diferentes. Posteriormente se concentró en dos de sus sentidos. Uno es el de paradigma como logro. En el momento de la revolución hay generalmente algún éxito ejemplar que resuelve los viejos problemas de una manera novedosa, utilizando nuevos conceptos. Este éxito sirve como modelo para la generación siguiente de investigadores, que tratan de resolver problemas de la misma manera. Hay aquí un elemento de rutina, como cuando se aprende la conjugación de los verbos latinos terminados en *-are*. También hay un elemento más liberal de modelado, como cuando uno toma un santo favo-

rito como su paradigma, o como modelo. El paradigma como logro es el modelo de una ciencia normal.

No hay nada en la idea del paradigma como logro que vaya contra la racionalidad científica: todo lo contrario.

EL PARADIGMA COMO CONJUNTO DE VALORES COMPARTIDOS

Cuando Kuhn escribe sobre la ciencia no se refiere a la vasta empresa que es la ciencia moderna, sino a pequeños grupos de investigadores que idean una línea de investigación. Él ha llamado a esto una matriz disciplinaria, compuesta por grupos de investigación que se influyen recíprocamente, con problemas y objetivos comunes. Puede consistir en unos cuantos cientos de personas en primera línea, más estudiantes y asistentes. Tal grupo puede ser identificado por un ignorante o por un sociólogo que no sabe nada de la ciencia en cuestión. El que no sabe nada simplemente anota quién mantiene correspondencia con quién, quién telefonea a quién, quién está en las listas de obras por publicar, a quién se invita a las innumerables reuniones de especialistas de la disciplina en donde se intercambia información años antes de que llegue a publicarse. La cantidad de menciones en citas al final de los artículos publicados son un buen indicio. Las solicitudes de dinero son evaluadas por "colegas revisores". Estos colegas son una guía aproximada dentro de un país, pero tales matrices a menudo son internacionales.

Dentro de cada grupo hay un conjunto de métodos, normas y suposiciones básicas. Éstas se transmiten a los estudiantes, se inculcan en los libros de texto, se usan para decidir qué investigación debe apoyarse, qué problemas importan, qué soluciones son admisibles, quién merece promoción, quién arbitra trabajos en una revista, quién publica, quién perece. Éste es un paradigma como conjunto de valores compartidos.

El paradigma como conjunto de valores compartidos está tan íntimamente ligado al paradigma como logro que parece natural usar la misma palabra "paradigma". Uno de los valores compartidos es el logro. El logro inicial impone normas de excelencia, un modelo de investigación, una clase de anomalías para la cual resolver acertijos se considera su recompensa. Aquí "recompensa" es ambiguo. Quiere decir que dentro de un marco de restricciones conceptuales impuestas por el logro original, este tipo de trabajo recompensa intelectualmente. También quiere decir que es el tipo de trabajo que la disciplina recompensa con promoción, financiamiento, estudiantes de investigación, etcétera.

¿Percibimos finalmente un olor de irracionalidad? ¿Son estos valores meras construcciones sociales? ¿Son los ritos de iniciación y pasaje precisamente de la clase estudiada por los antropólogos sociales en partes de nuestra propia cultura y de otras culturas que no pretenden ser muy racionales? Tal vez, pero ¿y qué? La búsqueda de la verdad y de la razón indudablemente se organizará de acuerdo con las mismas fórmulas sociales de otras búsquedas, como la felicidad o el genocidio. El hecho de que los científicos sean gente, y de que las sociedades científicas sean sociedades, no tiene por qué arrojar dudas sobre la racionalidad científica.

CONVERSIÓN

La amenaza a la racionalidad proviene principalmente de la concepción de Kuhn del cambio revolucionario en los paradigmas. Él lo compara con una conversión religiosa y con el fenómeno de un cambio gestáltico. Si se dibuja en un papel la figura de un cubo en perspectiva, uno puede ver el cubo a veces orientado de una manera y a veces de otra. Wittgenstein utilizó una figura que podía verse a veces como un conejo, a veces como un pato. Se dice que la conversión religiosa es una versión notable de un fenómeno similar, que trae consigo un cambio radical en la manera como percibimos la vida.

Los cambios gestálticos no involucran razonamiento. Puede haber conversión religiosa razonada —un hecho quizás más recalcado en la tradición católica que en la protestante. Kuhn más bien parece tener en mente la idea del "nacido de nuevo". Podría recordarse a Pascal, quien pensaba que una buena manera de convertirse en creyente es vivir entre creyentes descuidadamente, participando en el ritual hasta que sea verdadero.

Tales reflexiones no muestran que un cambio no racional de creencia no pueda ser también un cambio de algo menos razonable a una doctrina más razonable. Kuhn mismo nos incita a hacer un cambio gestáltico, que dejemos de ver el desarrollo de la ciencia como sujeto únicamente a los viejos cánones de racionalidad y de lógica. Todavía más importante es su sugerencia de una nueva concepción: después de un cambio de paradigma, los miembros de una nueva matriz disciplinaria "viven en un mundo diferente" del de sus predecesores.

INCONMENSURABILIDAD

Vivir en un mundo diferente parece implicar una consecuencia importante. Puede ser que queramos comparar los méritos del viejo paradigma con los de su sucesor. La revolución fue razonable sólo si la nueva teoría encaja con los hechos conocidos mejor que la anterior. Kuhn sugiere que, por el contrario, uno no puede ni siquiera expresar las ideas de la vieja teoría en el lenguaje de la nueva. La nueva teoría es un nuevo lenguaje. Literalmente, no hay una manera de encontrar un lenguaje neutral en el que las dos teorías puedan expresarse para posteriormente compararse.

Complacientemente, estábamos acostumbrados a asumir que la teoría sucesora incorporaría los descubrimientos de su predecesor. Según Kuhn, no puede ni siquiera ser capaz de expresar estos descubrimientos. Nuestra vieja idea del crecimiento del conocimiento se basaba en la acumulación del conocimiento, a pesar de traspiés ocasionales. Kuhn dice que si bien cualquier ciencia normal es acumulativa, la ciencia en general no lo es. Típicamente, después de una revolución, una buena parte de la química, la biología, o lo que sea, será olvidada, será accesible sólo al historiador que con dificultad recupera una visión descartada del mundo. Los críticos por supuesto van a estar en desacuerdo acerca de qué tan "típico" es esto. Ellos van a sostener —y con algo de justicia— que es más típico un caso como, por ejemplo, la incorporación de la teoría cuántica de la relatividad a la relatividad clásica.

LA OBJETIVIDAD

A Kuhn lo tomó por sorpresa la manera como su trabajo (y el de otros) produjo una crisis de la racionalidad. Más tarde escribió que él nunca pretendió negar las virtudes comúnmente asociadas con las teorías científicas. Las teorías deberían ser precisas, esto es, adecuarse a los datos experimentales existentes. Deberían ser internamente consistentes y consistentes con otras teorías aceptadas. Deberían ser amplias en alcance y ricas en consecuencias. Deberían ser simples en estructura y organizar los hechos de una manera inteligible. Deberían ser fructíferas y descubrirnos nuevos sucesos, nuevas técnicas, nuevas relaciones. Dentro de una ciencia normal, los experimentos cruciales que deciden entre hipótesis rivales utilizando los mismos conceptos pueden ser raros, pero no son imposibles.

Tales comentarios parecen estar muy alejados del Kuhn popularizado de *La estructura*. Pero insiste en hacer dos observaciones fundamentales. En

primer lugar, que sus cinco valores y otros del mismo tipo nunca son suficientes para hacer una elección decisiva entre teorías en competencia. Otras cualidades del juicio entran en juego, cualidades que pueden, en principio, no ser un algoritmo formal. En segundo lugar:

> Los proponentes de las diferentes teorías son, como he sostenido, hablantes nativos de lenguas diferentes [...] Yo simplemente afirmo que existen límites significativos para lo que los proponentes de teorías diferentes pueden comunicarse entre sí [...] Sin embargo, a pesar de lo incompleto de su comunicación, los proponentes de teorías diferentes pueden exhibir, no siempre fácilmente, los resultados técnicos concretos que quienes practican las respectivas teorías han hecho disponibles.[2]

Cuando uno acepta una teoría, continúa Kuhn, "empieza a hablar el lenguaje como nativo. Nada parecido a una elección ha ocurrido", pero uno termina hablando el lenguaje como un nativo de todas maneras. Uno no tiene dos teorías en la cabeza y las compara punto por punto —son demasiado diferentes para eso. Uno se convierte gradualmente, y esto se muestra en el movimiento hacia una nueva comunidad lingüística.

ANARCO-RACIONALISMO

Creo que Kuhn, originalmente, no estaba interesado en cuestiones de racionalidad. El caso de Paul Feyerabend, su contemporáneo, es diferente. Sus ideas radicales se traslapan con las de Kuhn a menudo, pero él es un enemigo acérrimo de la racionalidad dogmática. Se ha llamado a sí mismo un anarquista, pero como los anarquistas a menudo le hacen daño a la gente, él prefiere el nombre de dadaísta. Que no haya un canon de racionalidad, ni una clase privilegiada de buenas razones, ni una ciencia preferida o paradigma. Estos preceptos morales provienen en parte de una concepción de la naturaleza humana. Los racionalistas tratan de limitar sistemáticamente el espíritu libre de la mente humana. Hay muchas racionalidades, muchos estilos de razón, y también muchas buenas maneras de vivir donde nada que merezca llamarse razón importa mucho. Por otra parte, Feyerabend no excluye el uso de todo estilo de razón, y él ciertamente tiene el suyo.

[2] "Objectivity, Value Judgement, and Theory Choice", en T.S. Kuhn, *The Essential Tension*, Chicago, 1977, pp. 320–339.

REACCIONES

A diferencia de algunas de las polémicas de Feyerabend, las principales corrientes del libro de Kuhn no se oponen explícitamente a la racionalidad científica. Ofrecen una visión diferente de la ciencia que ha sido cuestionada punto por punto. Su historia ha sido puesta en duda, sus generalizaciones han sido cuestionadas y sus ideas acerca del lenguaje y la inconmensurabilidad han sido ferozmente criticadas. Algunos filósofos han adoptado posturas defensivas, tratando de preservar viejas ideas. Otros atacan desde una nueva concepción, esperando mejorar a Kuhn. Imre Lakatos es uno de ellos. Su trabajo se examina más adelante en el capítulo 8. Él consideraba que estaba proponiendo una revisión de Popper que tomara en cuenta el trabajo de Kuhn. Quería una racionalidad científica libre de la "psicología de masas" de Kuhn. Inventó una intrigante "metodología de los programas de investigación científica", no tanto para refutar a Kuhn, sino para ofrecer una visión alternativa, racionalista, de la ciencia.

Mi propia actitud hacia la racionalidad es demasiado parecida a la de Feyerabend como para que valga la pena presentarla con más detalle: lo que sigue es acerca del realismo científico, no acerca de la racionalidad. El mejor resumen del estado actual de la razón proviene de Larry Laudan.

A partir de la evidencia histórica existente podemos concluir que:

1. Las transiciones entre teorías son por lo general no acumulativas, esto es, ni el contenido lógico ni el empírico (ni siquiera las consecuencias confirmadas) de teorías anteriores se preservan completamente cuando esas teorías se suplantan por otras más nuevas.
2. Las teorías, generalmente, no se rechazan por el simple hecho de presentar anomalías, y generalmente tampoco se aceptan sólo porque se las confirme empíricamente.
3. Los cambios en las teorías científicas, y las controversias acerca de ellas, dependen a menudo de cuestiones conceptuales y no de cuestiones de apoyo empírico.
4. Los principios específicos y "locales" de la racionalidad científica que los científicos utilizan para la evaluación de teorías no están fijados permanentemente, sino que se han alterado significativamente a lo largo del curso de la ciencia.
5. Hay un amplio espectro de actitudes cognoscitivas que los científicos adoptan hacia las teorías, incluyendo aceptar, rechazar, seguir, poner a consideración, etc. Cualquier teoría de la racionalidad que se restrinja a

examinar las dos primeras será incapaz de dirigirse a la vasta mayoría de las situaciones que enfrentan los científicos.

6. Dadas las notorias dificultades con las nociones de "aproximación a la verdad" —en el nivel tanto semántico como epistémico— no es plausible que las caracterizaciones del progreso científico que consideran la evolución hacia una mayor verosimilitud como el objetivo principal de la ciencia permitan a uno representar la ciencia como una actividad racional.
7. La coexistencia de teorías rivales es la regla, más que la excepción, así que la evaluación de teorías es principalmente un asunto comparativo.[3]

Laudan piensa que la racionalidad científica reside en el poder de la ciencia para resolver problemas. La teoría T debe preferirse a la teoría T^* cuando T resuelve más problemas que T^*. No debemos preocuparnos por si T está más cerca de la verdad que T^* (punto 6). Las teorías pueden ser evaluadas sólo si comparamos su habilidad para resolver problemas (punto 7). La adecuación a los datos experimentales no es lo único que cuenta, cuenta también la habilidad para resolver problemas conceptuales (punto 3). Puede ser racional la prosecusión de una investigación basada en ideas que no se adecuan a la información presente, ya que la investigación obtiene su valor de la solución de problemas que se lleva a cabo conforme la investigación avanza (punto 2).

No tenemos por qué suscribir todos los puntos de Laudan. Yo comparto con los críticos la duda de que se puedan comparar habilidades para resolver problemas. Para mí, la observación más importante de Laudan es (punto 5): la aceptación y el rechazo de las teorías es una cuestión relativamente menor en la ciencia. Un científico no va por la vida decidiendo si rechaza o acepta una teoría. Yo extraigo una conclusión opuesta a la de Laudan: la racionalidad tiene poca importancia en la ciencia. El filósofo del lenguaje Gilbert Ryle hizo notar hace ya mucho tiempo que no es la palabra "racional" la que nos sirve de algo, sino más bien la palabra "irracional". Nunca digo que mi sabia tía Patricia es racional (más bien diría que es sensible, sabia, imaginativa, perceptiva). Digo que mi tonto tío Pedro es a veces irracional (además de ser haragán, desconsiderado, confuso, irresponsable). Aristóteles enseñaba que los seres humanos son seres racionales, lo que quiere decir que tienen la capacidad de razonar. Podemos estar de acuerdo con esto sin pensar que "racional" es una palabra evaluativa. Sólo "irracional",

[3] L. Laudan, "A Problem Solving Approach to Scientific Progress", en I. Hacking (comp.), *Scientific Revolutions*, Oxford, 1981, pp. 144 y ss.

en nuestro lenguaje actual, es evaluativo, y puede querer decir fastidioso, incorrecto, titubeante, inseguro, falto de conocimiento de sí mismo, y mucho más. La "racionalidad" que estudian los filósofos de la ciencia tiene tan poco encanto para mí como para Feyerabend. La realidad es más divertida, no es que "realidad" sea una mejor palabra. Realidad... qué concepto.

Sea como sea, nótese cuán historicistas nos hemos vuelto. Laudan extrae sus conclusiones "de la evidencia histórica existente". El discurso de la filosofía de la ciencia se ha transformado desde la época en que Kuhn escribió. Ya no mostramos nuestro respeto por la ciencia, como Nietzsche decía, deshistorizándola.

LA RACIONALIDAD Y EL REALISMO CIENTÍFICO

Esto es todo lo que diremos acerca de los temas introductorios tradicionales de la filosofía de la ciencia que *no* examinaremos en los capítulos siguientes. Pero por supuesto que la razón y la racionalidad no son tan separables. Cuando sí retome cuestiones mencionadas en la introducción, el hincapié siempre será en el realismo. El capítulo 5 trata acerca de la inconmensurabilidad, pero únicamente porque ésta contiene el germen del irrealismo. El capítulo 8 trata acerca de Lakatos, a menudo considerado como un campeón de la racionalidad, pero él sale a relucir aquí porque creo que está mostrando una manera de ser realista sin sostener una teoría correspondentista de la verdad.

Otros filósofos acercan más la razón y la realidad. Laudan, por ejemplo, es un racionalista que ataca las teorías realistas. Esto se debe a que muchos desean usar el realismo como base para una teoría de la racionalidad, y Laudan sostiene que éste es un error tremendo. Al final yo sostengo un tipo de realismo, pero esto no se contrapone a Laudan, ya que yo nunca usaría el realismo como fundamento para la "racionalidad".

A la inversa, Hilary Putnam empieza su libro *Reason, Truth and History*, publicado en 1982, insistiendo en "que hay una conexión muy cercana entre las nociones de *verdad* y *racionalidad*". (La verdad es un encabezado bajo el cual se habla sobre el realismo científico.) Continúa: "dicho más crudamente, el único criterio para lo que es un hecho es lo que es *racional* aceptar" (p. x). Si acaso Putnam está o no en lo correcto, de todas maneras Nietzsche otra vez parece vindicado. Los libros de filosofía en inglés antes tenían títulos como el de A.J. Ayer publicado en 1936, *Lenguaje, verdad y lógica*. En 1982 tenemos *Reason, Truth and History*.

Sin embargo, no es en la historia donde nos embarcaremos ahora. Utilizaré ejemplos históricos para dar lecciones, y asumiré que el conocimiento mismo es una entidad en evolución histórica. Todo esto puede ser parte de la historia de las ideas, o de la historia intelectual. Hay un concepto de historia más simple y pasado de moda, como historia de lo que hacemos, no de lo que pensamos. Esto no es historia de las ideas, sino historia (sin puntualizaciones). Yo separo la razón y la realidad más tajantemente que como lo hacen Laudan y Putnam, porque pienso que la realidad tiene que ver más con lo que hacemos en el mundo que con lo que pensamos acerca de él.

PARTE A: REPRESENTAR

1

¿QUÉ ES EL REALISMO CIENTÍFICO?

El *realismo científico* dice que las entidades, los estados y los procesos descritos por teorías correctas realmente existen. Los protones, los fotones, los campos de fuerza y los hoyos negros son tan reales como las uñas de los pies, las turbinas, los remolinos de una corriente y los volcanes. Las interacciones débiles de la física de partículas elementales son tan reales como enamorarse. Las teorías acerca de la estructura de las moléculas que transportan el material genético son o bien verdaderas o bien falsas, y una teoría genuinamente correcta sería una teoría verdadera.

Aun cuando nuestras ciencias no pueden considerarse totalmente correctas, el realista sostiene que nos aproximamos a la verdad. Nuestro objetivo es el descubrimiento de la constitución interna de las cosas y el conocimiento de lo que habita los más distantes confines del universo. No tenemos por qué ser modestos. Ya hemos avanzado bastante.

El *antirrealismo* nos dice lo opuesto: no hay cosas tales como electrones. Seguramente hay fenómenos eléctricos y de herencia, pero lo que hacemos es construir teorías acerca de estados, procesos y entidades diminutas, únicamente para tener la capacidad de predecir y producir sucesos que nos interesan. Los electrones son ficticios. Las teorías acerca de ellos son herramientas del pensamiento. Las teorías son adecuadas o útiles o admisibles o aplicables, pero no importa qué tanto admiremos los triunfos especulativos y tecnológicos de las ciencias naturales, no deberíamos considerar verdaderas ni siquiera sus teorías más reveladoras. Algunos antirrealistas vacilan porque creen que las teorías son herramientas intelectuales que no pueden entenderse como enunciados literales acerca de cómo es el mundo. Otros dicen que las teorías deben aceptarse literalmente —no hay otra manera de entenderlas. Pero no importa qué tanto utilicemos las teorías, arguyen estos antirrealistas, no tenemos razones suficientes para creer que son correctas. Del mismo modo, los antirrealistas de las dos categorías no incluyen entidades teóricas entre los tipos de cosas que realmente existen en el mundo: turbinas sí, pero fotones no.

De acuerdo con el antirrealista, hemos intentado dominar muchas cosas en la naturaleza. La ingeniería genética se está volviendo algo tan habitual como la manufactura del acero, pero no nos engañemos. No pensemos que largas cadenas de moléculas están realmente allí para ser partidas. Los biólogos pueden pensar más claramente acerca de un aminoácido si construyen un modelo molecular con alambres y bolas coloreadas. El modelo puede ayudarnos a ordenar los fenómenos en nuestras mentes. Puede sugerir nueva microtecnología, pero no es una representación literal de cómo son las cosas en la realidad. Yo podría hacer un modelo de la economía a partir de poleas, palancas y bolas de cojinetes y pesos. Cada disminución en el peso M (el "suministro de dinero") produce una disminución en el ángulo I (la "tasa de inflación") y un incremento en el número de bolas en la bandeja (el número de trabajadores desempleados). Obtenemos los insumos y productos correctos, pero nadie pensaría que este modelo es lo que la economía *es*.

SI PUEDEN ROCIARSE, ENTONCES SON REALES

Por mi parte, yo nunca reflexioné sobre el realismo científico hasta que un amigo me mencionó un experimento que se estaba llevando a cabo para detectar la existencia de cargas eléctricas fraccionarias. Estas cargas fraccionarias se llaman quarks. Pero no fueron los quarks los que me hicieron realista, sino los electrones. Permítanme contar la historia. No tiene por qué ser una historia simple, sino realista, que conecte con la investigación científica cotidiana. Empecemos con un viejo experimento con electrones.

Durante mucho tiempo se pensó que la unidad fundamental de carga era el electrón. En 1908, J.A. Millikan ideó un bello experimento para medir esta cantidad. Una gota minúscula de aceite cargada negativamente se suspende entre dos placas cargadas eléctricamente. Primero se permite que caiga con el campo eléctrico desactivado. Entonces se aplica el campo para apresurar la velocidad de la caída. Las dos velocidades terminales de la gotita observadas se combinan con el coeficiente de viscosidad del aire y las densidades del aire y del aceite. Éstas, junto con el valor conocido de la gravedad y del campo eléctrico, nos permiten computar la carga de la gotita. En una serie de experimentos, las cargas de estas gotas son pequeños múltiplos enteros de una cantidad definida. Esto se toma como la carga mínima, es decir, como la carga de los electrones. Como en todo experimento, éste hace suposiciones que tan sólo son aproximadamente correctas: que las gotas son esféricas, por ejemplo. Millikan al principio ignoró el hecho

de que las gotas, comparadas con la trayectoria media de las moléculas de aire, no son grandes, así que las gotas reciben uno que otro choque en su camino. Pero la idea del experimento es definitiva.

Durante mucho tiempo, el electrón fue considerado la unidad de carga. Utilizamos e como el nombre de esta carga. La física de partículas pequeñas, sin embargo, sugiere cada vez más una entidad, el quark, que tiene una carga de $1/3e$. Nada de la teoría sugiere que los quarks tengan existencia independiente; si éstos llegan a existir efectivamente, la teoría implica que reaccionan y desaparecen de inmediato. Esto no ha desanimado un ingenioso experimento iniciado por LaRue, Fairbank y Hebard en Stanford. Ellos están a la caza de quarks "libres" utilizando la idea básica de Millikan.

Puesto que los quarks pueden ser raros o de muy corta duración, es útil tener una gota grande en lugar de una gota pequeña, pues así hay una probabilidad más alta de que un quark se le adhiera. La gota usada, aunque pesa menos de 10^{-4} gramos, es 107 veces más pesada que las gotas de Millikan. Si estuviera hecha de aceite caería casi como una piedra. En vez de eso está hecha de una sustancia llamada niobio, a la que se enfría por debajo de su temperatura de transición superconductiva de $9°K$. Una vez que una carga eléctrica se pone a darle vueltas a esta bola tan fría, sigue dándole vueltas sin parar. Así, la gota puede mantenerse flotando en un campo magnético, y de hecho ser llevada de arriba para abajo variando el campo. Uno puede también usar un magnetómetro para saber exactamente dónde está la gota y qué tan rápido se está moviendo.

La carga inicial colocada en la gota se cambia gradualmente, y aplicando nuestra tecnología actual a la manera de Millikan, uno determina si el paso de la carga positiva a la negativa ocurre en cero o en $\pm 1/3e$. Si sucede esto último, entonces seguramente debe haber un quark suelto en la gota. En su escrito inédito más reciente, Fairbank y sus asociados informan de cuatro cargas fraccionales compatibles con $+1/3e$, cuatro con $-1/3e$ y 13 con cero.

Ahora bien, ¿cómo alteramos la carga de la bola de niobio? Pues bien, "en este estadio", dijo mi amigo, "la rociamos con positrones para aumentar la carga o con electrones para disminuir la carga". A partir de ese día he sido un realista científico. *Hasta donde a mí concierne, si se puede rociar algo con ellos, entonces son reales.*

Las cargas fraccionarias de más larga vida son un tema controvertido. No son los quarks los que me convencieron del realismo. Quizás yo no me hubiera convencido acerca de los electrones en 1908. Había siempre tantas otras cosas que el escéptico podía encontrar: había aquella duda tremenda acerca de las fuerzas intermoleculares que actuaban en las gotas

de aceite. ¿Podría ser eso lo que Millikan medía? ¿De modo que sus cifras no probaban absolutamente nada acerca de los llamados electrones? De ser así, Millikan no avanza ni un paso para probar la realidad de los electrones. ¿Puede haber cargas eléctricas mínimas, pero no electrones? En nuestro ejemplo de los quarks encontramos el mismo tipo de dudas. Marinelli y Morpurgo, en un escrito inédito reciente, sugieren que lo que el grupo de Fairbank mide es una nueva fuerza electromagnética, no los quarks. Lo que me convenció del realismo no tiene nada que ver con ellos. Es el hecho de que ahora hay emisores estandarizados con los que podemos rociar electrones y positrones —y es precisamente eso lo que hacemos con ellos. Entendemos los efectos, entendemos las causas, y las utilizamos para averiguar algo más. Desde luego, lo mismo vale para otras herramientas de la profesión, los mecanismos para obtener el circuito en la bola de niobio superenfriada y en muchas otras manipulaciones casi interminables de lo "teórico".

¿EN QUÉ CONSISTE EL ARGUMENTO?

La persona práctica dice: considere lo que usted usa para hacer lo que hace. Si uno rocía electrones, entonces son reales. Ésta es una reacción sana, pero desafortunadamente los problemas no pueden descartarse tan fácilmente. Los antirrealistas pueden parecerle necios al experimentalista, pero las preguntas acerca del realismo son recurrentes en la historia del conocimiento. Además de las serias dificultades verbales sobre el significado de "verdadero" y "real", hay cuestiones sustantivas. Algunas surgen del entrelazamiento del realismo con otras filosofías. Por ejemplo, históricamente el realismo se ha mezclado con el materialismo, que en una de sus versiones nos dice que todo lo que existe está compuesto de pequeños bloques materiales. Tal materialismo sería realista acerca de los átomos, pero podría ser antimaterialista acerca de los campos "inmateriales" de fuerza. El materialismo dialéctico de algunos marxistas les dio malos ratos a muchas entidades teóricas modernas. Lysenko rechazó la genética mendeliana en parte porque dudaba de la realidad de los "genes" postulados.

El realismo también va en contra de algunas teorías de la causalidad. Es común que a las entidades teóricas se les atribuyan poderes causales: los electrones neutralizan las cargas positivas de las bolas de niobio. Los primeros positivistas del siglo diecinueve querían hacer ciencia sin hablar nunca de "causas", por lo que también tendieron a rechazar las entidades teóricas. Este tipo de antirrealismo está actualmente en boga.

El antirrealismo también se nutre de ciertas concepciones del conocimiento. A veces surge de la doctrina de que sólo podemos realmente conocer lo que está sujeto a la experiencia sensible. Incluso problemas fundamentales de la lógica están implicados. Hay un antirrealismo que pone en cuestión qué es para una teoría ser verdadera o falsa.

Problemas específicos de las ciencias particulares también han echado leña al fuego. Los astrónomos anticuados no querían adoptar la actitud realista de Copérnico. La idea de un sistema solar podría ayudar en los cálculos, pero no dice cómo es realmente el mundo, puesto que es la Tierra, no el Sol, insistían, el centro del universo. Una vez más, ¿deberíamos ser realistas acerca de la mecánica cuántica? ¿Deberíamos decir con el realista que las partículas tienen una posición y un impulso definido, si bien difícil de determinar? O en el otro extremo, ¿deberíamos decir que el "colapso del paquete de ondas" que ocurre durante una medición microfísica es una interacción con la mente humana?

No sólo se encuentran problemas realistas en las ciencias naturales particulares. Las ciencias sociales dan lugar a una discusión incluso más intensa. Puede haber problemas acerca de la libido, el superyó y la transferencia, sobre los que escribe Freud. ¿Podría uno utilizar el psicoanálisis para tratar de entenderse a uno mismo o a otra persona y pensar cínicamente que no hay nada que corresponda a la red de términos que figuran en la teoría? ¿Qué decir de la suposición de Durkheim de que hay procesos sociales reales, aunque en lo absoluto claramente distintos, que actúan sobre nosotros tan inexorablemente como la ley de la gravedad y, además, que existen por derecho propio, por encima de las propiedades de los individuos que componen la sociedad? ¿Podría uno coherentemente ser un realista en sociología y un antirrealista en la física, o viceversa?

También hay metaproblemas. Tal vez el realismo sea un ejemplo, tan bueno como podría desearse, de la fútil trivialidad de las reflexiones filosóficas básicas. Las preguntas que surgieron por primera vez en la antigüedad eran bastante serias. No tiene nada de malo preguntarse, en cierto momento, si los átomos son reales. Pero continuar la discusión acerca de esa pregunta puede ser, simplemente, un sucedáneo débil en lugar de un pensamiento serio acerca del mundo físico.

Esa preocupación es cinismo antifilosófico. También existe la antifilosofía filosófica. Esto sugiere que la familia completa de problemas acerca del realismo y el antirrealismo es un castillo de naipes, basado en un prototipo que ha perseguido a nuestra civilización, una idea del conocimiento como "representación" de la realidad. Cuando la idea de la correspondencia entre el pensamiento y el mundo se ponga en su lugar apropiado —a saber, la

tumba—, me pregunto si no seguirán rápidamente ese camino el realismo y el antirrealismo.

MOVIMIENTOS, NO DOCTRINAS

Las definiciones de "realismo científico" sólo señalan el camino. Es más bien una actitud que una doctrina claramente formulada. Es una manera de pensar acerca del contenido de la ciencia natural. La literatura y el arte pueden servirnos como puntos de comparación, ya que la palabra "realismo" no solamente ha recogido una serie de connotaciones filosóficas: también designa varios movimientos artísticos. Durante el siglo XIX muchos pintores trataron de escapar a las convenciones que los constreñían a pintar temas idealizados, románticos, históricos o religiosos en enormes lienzos. Estos pintores se decidieron a pintar escenas de la vida diaria. Rechazaban la "estetización" de la escena. Aceptaban material que fuera trivial o banal. Se negaban a elevarlo o idealizarlo: no trataban ni siquiera de hacer "pintorescas" sus pinturas. Los novelistas adoptaron esta actitud realista, a consecuencia de lo cual tenemos la gran tradición en literatura francesa que pasa por Flaubert y que culmina en las atormentadas descripciones de la Europa industrial de Zolá. Para citar una definición desdeñosa de hace tiempo, "realista es aquel que deliberadamente evita la selección de sus temas de entre lo armonioso o lo bello y, especialmente, describe cosas feas y destaca detalles ofensivos".

Tales movimientos no carecen de doctrinas. Muchos publicaron manifiestos. Todos estaban imbuidos de las sensibilidades filosóficas de la época y contribuyeron a ellas. En la literatura, un realismo tardío fue llamado positivismo. Pero hablamos de movimientos más que de doctrinas. Hablamos de un trabajo creativo que comparte una familia de motivaciones, y que en parte se define a sí mismo en oposición a otras maneras de pensamiento. El realismo científico y el antirrealismo son así: ellos también son movimientos. Podemos entrar en la discusión armados con un par de definiciones de un párrafo de extensión, pero una vez adentro encontraremos una serie de opiniones rivales y divergentes que abarcan la filosofía de la ciencia moderna en su agitado estado actual.

LA VERDAD Y LA EXISTENCIA REAL

Con brevedad engañosa, emplearé el término "entidad teórica" como palabra gancho para todas aquellas cosas postuladas por teorías pero que no podemos observar. Esto incluye, entre otras cosas, partículas, campos, procesos, estructuras, estados, etc. Hay dos tipos de realismo científico, uno para teorías, y uno para entidades.

El problema con respecto a las teorías es si son verdaderas, o si son verdaderas-o-falsas, o candidatas a ser verdaderas, o si aspiran a la verdad.

El problema con respecto a las entidades es si existen o no.

La mayoría de los filósofos recientes se preocupan sobre todo por las teorías y por la verdad. Puede parecer que si uno cree que una teoría es verdadera, entonces uno, automáticamente, cree que las entidades de la teoría existen. ¿Pues qué significa decir que una teoría acerca de los quarks es verdadera, si negamos la existencia de los quarks? Hace tiempo Bertrand Russell nos mostró cómo se podía hacer esto. En ese tiempo él no estaba preocupado por la verdad de las teorías, sino que estaba preocupado por las entidades no observables. Pensó que debíamos usar la lógica para reescribir una teoría, de tal manera que las supuestas entidades aparecieran como construcciones lógicas. El término "quark" no se referiría a quarks, sino que sería una abreviatura, por medio de la lógica, de una expresión compleja que sólo haría referencia a los fenómenos observados. Russell, pues, era un realista acerca de las teorías, pero un antirrealista acerca de las entidades.

Es también posible ser un realista acerca de las entidades y un antirrealista acerca de las teorías. Muchos padres de la Iglesia pueden servirnos de ejemplo. Ellos creían que Dios existe, pero también creían que era en principio imposible formular una teoría positiva verdadera e inteligible acerca de Dios. Uno podría, cuando mucho, dar una lista de lo que Dios no es —no es finito, no es limitado, etcétera. La versión de esto para las entidades científicas nos dice que tenemos buenas razones para suponer que los electrones existen, aunque ninguna descripción completa de los electrones tiene posibilidades de ser verdadera. Nuestras teorías están en revisión constante; para propósitos diferentes utilizamos modelos diferentes e incompatibles de los electrones que no se toman como literalmente verdaderos, pero, no obstante, hay electrones.

DOS REALISMOS

El realismo acerca de las entidades nos dice que muchas entidades teóricas realmente existen. El antirrealismo niega esto, y dice que son ficciones, construcciones lógicas, o partes de un instrumento intelectual para razonar acerca del mundo. Menos dogmáticamente, puede decirse que no tenemos ninguna razón, y no podemos tener ninguna razón, para suponer que no son ficciones. Pueden existir, pero no necesitamos esta suposición para entender el mundo.

El realismo acerca de las teorías nos dice que las teorías científicas son verdaderas o falsas independientemente de lo que sabemos: la ciencia cuando menos aspira a la verdad, y la verdad es como es el mundo. El antirrealismo nos dice que las teorías son a lo mucho legítimas, adecuadas, buenos instrumentos de trabajo, aceptables pero increíbles, o qué sé yo.

SUBDIVISIONES

He introducido paralelamente una tesis acerca de la realidad y una tesis acerca de lo que sabemos. Mi realismo acerca de las entidades implica que una entidad teórica satisfactoria sería una que existiera (y que no fuera meramente una útil herramienta intelectual). Ésta es una tesis acerca de las entidades y la realidad. También implica que efectivamente sabemos, o tenemos buenas razones para creer, que por lo menos algunas entidades de este tipo están presentes en la ciencia. Ésta es una tesis acerca del conocimiento.

He introducido juntos la realidad y el conocimiento porque el problema se esfumaría si no hubiera *ahora* algunas entidades que algunos de nosotros creemos que realmente existen. Si estuviéramos hablando de una utopía científica futura, me retiraría de la discusión. Las dos corrientes que trato juntas pueden fácilmente separarse, como en el siguiente esquema de W. Newton-Smith.[1] Él hace notar tres ingredientes del realismo científico:

1. Un ingrediente *ontológico*: las teorías científicas son o bien verdaderas o bien falsas, y lo que es una teoría lo es en virtud de cómo es el mundo.
2. Un ingrediente *causal*: si una teoría es verdadera, los términos teóricos de la teoría denotan entidades teóricas que son causalmente responsables de los fenómenos observables.

[1] W. Newton-Smith, "The Undetermination of Theory by Data", *Proceedings of the Aristotelian Society*, volumen suplementario no. 52, 1978, p. 72.

3. Un ingrediente *epistemológico*: podemos tener creencias justificadas en teorías o en entidades (al menos en principio).

A grandes rasgos, los ingredientes causales y epistemológicos de Newton-Smith corresponden a mi realismo acerca de las entidades. Puesto que hay dos ingredientes, puede haber dos tipos de antirrealismo. Uno rechaza (1) y el otro rechaza (3).

Uno puede negar el ingrediente ontológico. Se puede negar que las teorías deban entenderse literalmente; no son o bien verdaderas o bien falsas; son herramientas intelectuales para la predicción de fenómenos; son reglas para averiguar qué pasará en casos particulares. Hay muchas versiones de esta idea. Una idea de este tipo es a menudo llamada *instrumentalismo* porque dice que las teorías son solamente instrumentos.

El instrumentalismo niega (1). Uno puede alternativamente negar (3). Un ejemplo es Bas van Fraassen en su libro *La imagen científica* (1980).[2] Él piensa que las teorías deben tomarse literalmente —no hay otra manera de entenderlas. Son verdaderas o falsas, y lo que son depende del mundo —no hay una semántica alternativa. Sin embargo, no tenemos ninguna garantía o necesidad de creer en alguna teoría acerca de lo no observable para darle sentido a la ciencia. Esto es, él niega el ingrediente epistemológico.

Mi realismo acerca de las teorías es, pues, más o menos (1) y (3), pero mi realismo acerca de las entidades no es exactamente (2) y (3). El ingrediente causal de Newton-Smith dice que si la teoría es una teoría verdadera, entonces los términos teóricos denotan entidades que son causalmente responsables de lo que observamos. Implica que la creencia en tales entidades depende de la creencia en una teoría en la que están inmersas. Pero uno puede creer en algunas entidades sin creer en ninguna teoría particular en la que estas entidades estén inmersas. Uno puede incluso sostener que no puede haber una teoría general verdadera acerca de las entidades, puesto que no hay tal verdad. Nancy Cartwright explica esta idea en su libro *How the Laws of Physics Lie* (1983). Ella quiere que tomemos el título literalmente. Las leyes son engañosas. Sólo las leyes fenomenológicas son posiblemente verdaderas, pero de todas maneras podemos llegar a saber de entidades teóricas causalmente efectivas.

Naturalmente, todas estas ideas complicadas van a ser ventiladas en lo que sigue. A van Fraassen se lo menciona en varios lugares, especialmente en el capítulo III. Cartwright aparece en los capítulos II y XII. La tendencia general del libro es apartarse de un realismo acerca de las teorías e ir

[2] Versión en castellano: *La imagen científica*, trad. Sergio Martínez, UNAM-Paidós, México, 1996. Van Fraassen

hacia un realismo acerca de las entidades que pueden usarse en el trabajo experimental. Esto es, una tendencia a alejarse de representar, y acercarse a intervenir.

LA METAFÍSICA Y LAS CIENCIAS PARTICULARES

Deberíamos también distinguir un realismo-en-general de un realismo-en-particular.

Podemos utilizar un ejemplo de Nancy Cartwright. A partir del trabajo de Einstein sobre el efecto fotoeléctrico, el fotón ha sido una parte integral de nuestra comprensión de lo que es la luz. No obstante, hay investigadores serios de la óptica, como Willis y Lamb y sus asociados, que dudan de la realidad de los fotones y que suponen que una teoría más profunda mostraría que el fotón es un mero artefacto de nuestras teorías presentes. Lamb no está diciendo que la teoría presente de la luz sea simplemente falsa. Una teoría más profunda conservaría la mayor parte de lo que sabemos acerca de la luz, pero mostraría que los efectos asociados con los fotones conducen, en el análisis, a un aspecto diferente de la naturaleza. Un científico tal bien podría ser un realista en general, pero un antirrealista acerca de los fotones en particular.

Tal antirrealismo localizado es un problema de la óptica, no de la filosofía. N.R. Hanson ha hecho ver una característica curiosa de las nuevas tendencias de las ciencias naturales. Primero una idea se propone como una herramienta para calcular, no como una representación de cómo son las cosas. Las generaciones futuras llegan a tratar la teoría y sus entidades de manera más realista. (Lamb es un escéptico en la dirección opuesta.) Con frecuencia, los primeros autores son ambivalentes acerca de sus entidades. Así, James Clerk Maxwell, uno de los creadores de la mecánica estadística, al principio era renuente a decir si un gas realmente está compuesto de pequeñas bolas elásticas que producen los efectos de la temperatura y la presión. Comenzó por considerar su explicación un "mero" modelo, que afortunadamente organiza cada vez más fenómenos macroscópicos. Se fue volviendo cada vez más realista. Las generaciones posteriores aparentemente piensan que la teoría cinética es un buen esbozo de cómo son realmente las cosas. Es bastante común en la ciencia que el antirrealismo acerca de una teoría particular o de sus entidades abra paso al realismo.

La precaución de Maxwell acerca de las moléculas de un gas era parte de una desconfianza generalizada hacia el atomismo. Sólo en nuestro siglo llegó la comunidad de físicos y químicos a convencerse totalmente de la

realidad de los átomos. Michael Gardner resume bien algunas de las corrientes que forman parte de esta historia.[3] Esto terminó, tal vez, cuando el movimiento browniano fue totalmente analizado en términos de trayectorias moleculares. Este hecho fue importante no sólo porque indicó en detalle cómo las moléculas estaban chocando con granos de polen, creando el movimiento observable. El verdadero logro fue una nueva manera de determinar el número de Avogadro, utilizando el análisis de Einstein del movimiento browniano y las técnicas experimentales de Jean Perrin.

Éste fue, por supuesto, un descubrimiento "científico", no "filosófico". Sin embargo, el realismo acerca de los átomos y las moléculas fue en algún momento el problema principal de la filosofía de la ciencia. Muy lejos de ser sólo un problema local acerca de un tipo de entidad, los átomos y las moléculas eran los candidatos principales a entidades teóricas reales (o meramente ficticias). Muchas de nuestras posiciones actuales en el debate acerca del realismo científico fueron desarrolladas entonces. Incluso el nombre mismo de "realismo científico" empezó a usarse en esa época.

El realismo-en-general se debe, pues, distinguir del realismo-en-particular, con la advertencia de que el realismo-en-particular puede llegar a dominar la discusión de tal forma que determine el curso del realismo-en-general. Un problema de un realismo-en-particular se resuelve por medio de la investigación y el desarrollo de una ciencia particular. Al final, un escéptico acerca de los fotones o los hoyos negros tiene que seguir la corriente o callarse. El realismo-en-general reverbera con la vieja metafísica y la nueva filosofía del lenguaje. Es muchísimo menos dependiente de hechos naturales que cualquier realismo-en-particular. Aun así, los dos no son del todo separables y, a menudo, en estadios formativos de nuestro pasado, han estado íntimamente combinados.

REPRESENTACIÓN E INTERVENCIÓN

Se dice que la ciencia tiene dos objetivos: la teoría y el experimento. Las teorías tratan de decir cómo es el mundo. La experimentación y las tecnologías subsecuentes lo cambian. Representamos e intervenimos. Representamos para intervenir, e intervenimos a la luz de representaciones. La mayor parte del debate contemporáneo acerca del realismo científico se da en términos de teoría, representación y verdad. Estas discusiones son iluminadoras pero

[3] M. Gardner, "Realism and Instrumentalism in 19th Century Atomism", *Philosophy of Science*, no. 46, 1979, pp. 1–34.

no decisivas. Esto se debe en parte a que están infectadas de una metafísica intratable. Sospecho que no puede haber ningún argumento decisivo en favor o en contra del realismo en el nivel de la representación. Cuando pasamos de la representación a la intervención, a rociar bolas de niobio con positrones, el antirrealismo tiene menos fuerza. En los capítulos siguientes comienzo con un interés acerca del realismo de entidades pasado de moda. Esto pronto nos llevará a los principales estudios modernos sobre la verdad y la representación, al realismo y al antirrealismo acerca de teorías. Al final volveré al tema de la intervención, el experimento y las entidades.

El árbitro final en filosofía no es lo que pensamos, sino lo que hacemos.

2

CONSTRUIR Y CAUSAR

¿Tiene algún uso la palabra "real" en la ciencia natural? Ciertamente. Algunas conversaciones sobre experimentos están llenas de ella. Aquí tenemos dos ejemplos reales. El biólogo celular apunta hacia una red de fibras que regularmente se encuentra en micrógrafos de células preparadas de cierta manera. Parece cromatina, que es la sustancia del núcleo celular llena de proteínas fundamentales. Tiñe como cromatina. Pero no es realmente cromatina. Es sólo un artefacto que resulta de la fijación del jugo nucleico por medio de glutaraldeído. Encontramos, efectivamente, un patrón de reproducción distintivo, pero no tiene nada que ver con la célula. Es un artefacto de la preparación.[1]

Pasando de la biología a la física, algunos críticos de la caza de quarks no creen que Fairbank y sus colegas hayan aislado cargas fraccionarias de larga vida. Los resultados pueden ser importantes pero los quarks libres no son reales. De hecho se ha descubierto algo bastante diferente: una nueva fuerza electromagnética hasta ahora desconocida.

¿Qué quiere decir "real", después de todo? Los mejores pensamientos concisos al respecto son los de J.L. Austin, una de las figuras filosóficas más poderosas de Oxford, donde murió en 1960 a la edad de 49 años. A él le importaba mucho el lenguaje ordinario, y pensaba que a menudo nos regodeamos con teorías filosóficas fantásticas sin entender lo que estamos diciendo. En el capítulo 7 de sus conferencias, *Sense and Sensibilia*, escribe acerca de la realidad: "No debemos considerar con desprecio frases comunes como 'no es realmente crema' ".[2] Ésta era su primera regla metodológica. Su segunda regla era no buscar "un único *significado* especificable siempre-de-la-misma manera". Nos previene en contra de buscar sinónimos,

[1] Por ejemplo, R.J. Skaer y S. Whytock, "Chromatin-Like Artifacts from Nuclear Sap", *Journal of Cell Science*, no. 26, 1977, pp. 301–305.

[2] La palabra "real" en inglés se usa generalmente en situaciones en las que en español se utilizaría la frase "de verdad". Para hacer comprensible la discusión es necesario forzar un poco el uso de la palabra "real" en castellano. [N. del t.]

y al mismo tiempo nos insta a la búsqueda sistemática de regularidades en el uso de la palabra.

Hace cuatro observaciones acerca de la palabra "real". Dos de ellas me parecen importantes a pesar de estar expresadas de una manera poco convencional. Las dos observaciones interesantes son que la palabra "real" está ávida de sustantivos, ávida de nombres. La palabra es también lo que Austin llama, de una manera genialmente sexista, una palabra-pantalón.

La palabra está ávida de sustantivos porque "eso es real" requiere un sustantivo para ser entendido correctamente: esto es realmente crema, es realmente un policía, es realmente un Constable.

Se llama a lo "real" una palabra-pantalón debido a usos negativos de las palabras "ponte los pantalones". La crema rosa es rosa, el mismo color que un flamenco rosa. Pero llamar a algo realmente crema no establece el mismo tipo de aseveración positiva. Lo que decimos que es realmente crema es, tal vez, algo que no es un producto no lácteo para el café. El cuero real es piel, no plástico imitación piel; los verdaderos diamantes no son de pasta; los patos reales no son anzuelos, y así sucesivamente. La fuerza de "un *S* real" deriva del negativo "un *S* no real". Estar ávido de sustantivos y ser una palabra-pantalón están conectados. Para saber qué cosa lleva los pantalones tenemos que conocer el sustantivo, para así poder saber qué es lo que se niega (en un uso negativo). Un teléfono real es, en cierto contexto, algo que no es un juguete; en otro contexto, algo que no es una imitación, o que no es puramente decorativo. Esto no es porque la palabra sea ambigua, sino porque si algo es un *N* real depende del *N* en cuestión. La palabra "real" desempeña regularmente la misma función, pero uno tiene que ver cuál es el *N* para ver cuál es esa función. La palabra "real" es como un trabajador de temporada en los sembradíos, cuyo trabajo es claro: recoger el cultivo actual. Pero ¿qué es lo que se recoge? ¿En dónde se recoge? ¿Cómo se recoge? Esto depende del cultivo, ya sea lechuga, estupefacientes, cerezas o pasto.

La idea es que la palabra "real" no tiene un significado ambiguo que esté entre "cromatina real", "carga real" y "crema real". Una razón importante para insistir en esta observación gramatical es desalentar la opinión común de que *debe* haber diferentes clases de realidad sólo porque la palabra se usa de muchas maneras. Bueno, tal vez haya diferentes tipos de realidad. No lo sé, pero no utilicemos un análisis gramatical superficial para concluir que hay diferentes tipos de realidad. Es más, debemos ahora forzar al filósofo a aclarar el contraste que se hace mediante la palabra "real" en algún debate especializado. Si las entidades teóricas son, o no son, entidades reales, ¿cuál es el contraste que se hace?

EL MATERIALISMO

J.J.C. Smart enfrenta el desafío en su libro *Philosophy and Scientific Realism* (1963). Sí, dice Smart, "real" debería marcar un contraste. No todas las entidades teóricas son reales. Las "líneas de fuerza, a diferencia de los electrones, *son* ficciones teóricas. Quiero decir que esta mesa está compuesta de electrones, etc., en el sentido en el que esta pared está compuesta de ladrillos" (p. 36). Un enjambre está formado de abejas, pero no hay nada que esté formado de líneas de fuerza. Hay un número definido de abejas en un enjambre y hay un número definido de electrones en una botella, pero no hay un número definido de líneas de fuerza en un volumen determinado; sólo una convención nos permite contarlas.

Teniendo en mente al físico Max Born, Smart nos dice que el antirrealista sostiene que los electrones no figuran en la serie siguiente: "estrellas, planetas, montañas, casas, mesas, granos de madera, cristales microscópicos, microbios". Por el contrario, nos dice Smart, los cristales *están* hechos de moléculas, las moléculas de átomos y los átomos de electrones, entre otras cosas. Así, Smart infiere que el antirrealista está equivocado. Hay por lo menos algunas entidades teóricas. Por el otro lado, la palabra "real" marca una distinción importante. En la concepción de Smart, las líneas de fuerza magnética no son "reales".

Michael Faraday, quien fue el primero en hablar de las líneas de fuerza, no estaba de acuerdo con Smart. Al principio pensaba que las líneas de fuerza eran una herramienta intelectual, un modelo geométrico sin significado físico. En 1852, cuando ya tenía más de 60 años, Faraday cambió de parecer. "No puedo concebir líneas curvas de fuerza sin la condición de existencia física en ese espacio intermedio."[3] Se dio cuenta de que es posible ejercer una presión en las líneas de fuerza, por lo que, según él, tenían que tener existencia física. "No hay duda", escribe su biógrafo, "de que Faraday estaba firmemente convencido de que las líneas de fuerza son reales". Esto no muestra que Smart estuviera equivocado. Nos recuerda, sin embargo, que algunas concepciones físicas de la realidad van más allá del nivel simplista de la construcción con ladrillos.

Smart es un *materialista*, aunque ahora él prefiere el término fisicalista. No quiero decir que él insistiera en que los electrones son materia bruta. En nuestro tiempo las viejas ideas de la materia han sido reemplazadas por nociones más sutiles. Su pensamiento, sin embargo, se sigue basando en la idea

[3] Todas las citas y comentarios acerca de Faraday provienen de *Michael Faraday, A Biography*, de L. Pearce Williams, Londres y Nueva York, 1965.

de que las cosas materiales como las estrellas y las mesas están conformadas (entre otras cosas) por electrones. El antimaterialista Berkeley, cuando les ponía objeciones a los corpúsculos de Robert Boyle e Isaac Newton, rechazaba, precisamente, esta manera de ver las cosas. Smart se considera opuesto al fenomenalismo, una versión moderna del inmaterialismo de Berkeley. Es tal vez significativo que Faraday no fuera un materialista. Él forma parte de la tradición de la física que no le presta mucha atención a la función que desempeña la materia y que hace hincapié en los campos de fuerza y energía. Uno puede incluso preguntarse si el materialismo de Smart es una tesis empírica. Supongamos que el modelo del mundo físico debido a Leibniz, a Boscovič, al joven Kant, a Faraday, a los energetistas del siglo XIX, es de hecho más exitoso que el atomismo. Supongamos que la historia de la construcción con ladrillos ya no puede mantenerse en cierto momento. ¿Concluiría entonces Smart que las entidades fundamentales de la física son ficciones teóricas?

La realité physique, el libro más reciente del filósofo y teórico cuántico Bernard d'Espagnat, es una argumentación de que podemos seguir siendo realistas científicos sin ser materialistas. Así, "real" debe poder marcar otros contrastes que los escogidos por Smart. Nótese también que la distinción de Smart no nos ayuda a decidir si las entidades teóricas de las ciencias sociales o de las ciencias psicológicas son reales. Por supuesto, uno puede proceder de una manera materialista hasta cierto punto. De esta manera, nos encontramos con que el lingüista Noam Chomsky, en su libro *Rules and Representations* (1980), aboga por el realismo en la psicología cognitiva. Una parte de su tesis es que el material estructurado que se encuentra en el cerebro, y que se transmite de generación en generación, ayuda a explicar la adquisición del lenguaje. Pero Chomsky no sólo está diciendo que el cerebro está hecho de materia organizada. Él piensa que las estructuras son responsables de algunos de los fenómenos del pensamiento. Los tejidos y el sistema arterial de nuestras cabezas causan que pensemos de cierta manera. Esta palabra "causa" nos lleva a otra versión del realismo científico.

CAUSALISMO

Smart es un materialista. Por analogía diremos que alguien que hace hincapié en los poderes causales de lo real es un *causalista*. David Hume pudo haber querido analizar la causalidad sólo desde el punto de vista de la asociación regular entre causa y efecto. Pero los buenos humeanos saben que

debe haber algo más que una mera correlación. Todos los días leemos cosas como ésta:

> Si bien el Colegio Norteamericano de Ginecólogos y Obstetras reconoce que se ha establecido una asociación entre el síndrome del shock tóxico y el uso de tampones durante la menstruación, no deberemos asumir que esto significa que hay una relación definida de causa y efecto sino hasta que entendamos mejor el mecanismo que genera esta condición. (Información de prensa, de octubre de 1980.)

Algunas mujeres que emplean una nueva marca ("Todo lo que usted siempre quiso de un tampón... o de una toalla femenina") vomitan, tienen diarrea y fiebre alta, algunas tienen erupciones cutáneas y mueren. No es sólo el temor a juicios por difamación lo que hace que el Colegio desee un mejor entendimiento de los mecanismos antes de hablar de causas. A veces una parte interesada niega que una asociación muestre algo. Por ejemplo, el 19 de septiembre de 1980, un proyectil con una cabeza nuclear estalló después de que alguien arrojó una llave de tuercas al silo. La cabeza nuclear no se disparó, pero poco después de la explosión química la pequeña ciudad cercana de Guy, Arkansas, se cubrió de una niebla rojiza. Después de una hora de la explosión, los habitantes de Guy tenían los labios quemados, dificultades para respirar, dolor de pecho, y náusea. Los síntomas continuaron por semanas y nadie más en el mundo tenía este problema. ¿Causa y efecto? "La fuerza aérea de los Estados Unidos sostiene que no se ha establecido tal correlación." (Comunicado de prensa, 11 de octubre de 1980.)

El Colegio de Obstetras y Ginecólogos insiste en que no podremos hablar de causas sino hasta que sepamos cómo actúan las causas del síndrome del shock tóxico. La fuerza aérea, en cambio, está mintiendo descaradamente. Es importante para el causalista que estas distinciones surjan de una manera natural. Distinguimos entre negaciones ridículas de correlaciones y aseveraciones de correlaciones. También distinguimos entre correlaciones y causas. El filósofo C.D. Broad formuló esta idea no humeana de la siguiente manera. Podemos observar que cada día el silbato de una fábrica suena al mediodía, y exactamente al mediodía los trabajadores de una fábrica de Leeds dejan sus herramientas por una hora. Hay una regularidad perfecta, pero el silbato en Manchester no es la causa de la pausa para almorzar en Leeds.

Nancy Cartwright defiende el causalismo. En su opinión, llamar a algo una causa es una afirmación fuerte. Debemos entender por qué cierto tipo de suceso produce regularmente un efecto. Tal vez la prueba más clara de

tal entendimiento es que podemos utilizar sucesos de un tipo para producir sucesos de otro tipo. Positrones y electrones deben, pues, considerarse reales en su vocabulario puesto que los podemos rociar, separadamente, sobre una gotita de niobio y así cambiar su carga. Se entiende muy bien por qué este efecto sigue a la rociada. El mecanismo experimental se hizo de esa manera porque se sabía que produciría tales efectos. Un vasto número de cadenas causales muy diferentes se entienden y se emplean. Tenemos derecho a hablar de la realidad de los electrones no porque sean los ladrillos de una construcción, sino porque sabemos que tienen poderes causales específicos.

Esta versión del realismo nos hace comprender a Faraday. Como nos dice su biógrafo:

> Las líneas magnéticas de fuerza son visibles cuando las limaduras de hierro se dispersan alrededor de un magneto, y las líneas son supuestamente más densas cuando las limaduras son más espesas. Pero nadie había supuesto que las líneas de fuerza realmente están allí, aun cuando se remuevan las limaduras de hierro. Faraday ahora lo hace: podemos cortar estas líneas y obtener un efecto real (por ejemplo, con el motor eléctrico inventado por Faraday) —por lo tanto son reales.

La verdadera historia de Faraday es un poco más complicada. Sólo mucho después de que inventó el motor, publicó algo acerca de su realismo de las líneas de fuerza. Empezó diciendo: "Voy a dejar ahora, por un tiempo, la línea estricta de razonamiento para adentrarme en unas especulaciones respecto del carácter físico de las líneas de fuerza." Pero independientemente de la estructura precisa del pensamiento de Faraday, tenemos una distinción manifiesta entre una herramienta para el cálculo y una concepción de causa y efecto. Ningún materialista que sea seguidor de Smart consideraría reales las líneas de fuerza. Faraday, teñido por el inmaterialismo, y siendo un poco causalista, dio precisamente ese paso. Fue un paso fundamental en la historia de la ciencia. Después vino la electrodinámica de Maxwell que todavía nos envuelve.

ENTIDADES, NO TEORÍAS

He distinguido entre el *realismo acerca de las entidades* y el *realismo acerca de las teorías*. Tanto causalistas como materialistas les dan más importancia a las entidades que a las teorías. Ninguno de ellos tiene que imaginarse que hay una teoría que es la mejor teoría acerca de los electrones. Cartwright va más allá; niega que las leyes de la física sean un enunciado de lo que

es el caso. Niega que los modelos que tienen un papel central en la física aplicada sean representaciones literales de cómo son las cosas. Ella es una antirrealista acerca de las teorías y una realista acerca de las entidades. Smart podría, si quisiera, adoptar una postura similar. Puede ser que no tengamos una teoría verdadera acerca de cómo los electrones entran en la construcción de los átomos, y luego de moléculas, y luego de células. Tenemos esbozos de teorías y modelos. Cartwright recalca que en varias ramas de la mecánica cuántica el investigador regularmente utiliza una gran variedad de modelos del mismo fenómeno. Nadie piensa que uno de ellos sea toda la verdad, y los modelos pueden ser mutuamente inconsistentes. Son herramientas intelectuales que nos ayudan a entender los fenómenos y a construir partes y piezas de la tecnología experimental. Nos permiten intervenir en procesos y crear fenómenos nuevos y hasta entonces no imaginados. Pero lo que realmente hace "que las cosas funcionen" no es un conjunto de leyes, o leyes verdaderas. No hay leyes exactamente verdaderas que hagan que las cosas sucedan. Son el electrón y sus congéneres los que están produciendo los efectos. Los electrones son reales, ellos producen los efectos.

Éste es un brusco cambio de la tradición empirista a partir de Hume. En esta doctrina sólo son reales las regularidades. Cartwright nos dice que en la naturaleza no hay regularidades uniformes profundas y completas. Las regularidades son características de las maneras como construimos teorías para pensar acerca de las cosas. Esta doctrina radical sólo puede ser evaluada a la luz de su tratamiento detallado en *How the Laws of Physics Lie*. Un aspecto de su enfoque se examina posteriormente en el capítulo 12.

La posibilidad de tal cambio debe mucho a Hilary Putnam. Como veremos en los capítulos 6 y 7, él había modificado rápidamente sus ideas. Lo que es importante aquí es que él rechaza la idea verosímil de que los términos teóricos, tales como "electrón", obtienen su significado dentro de una teoría particular. Por el contrario, él indica que podemos nombrar tipos de cosas que los fenómenos le insinúan a una mente inquisitiva y curiosa. A veces no nombraremos nada, pero con frecuencia tenemos éxito en formular la idea de un tipo de cosa que se conserva en elaboraciones sucesivas de la teoría. Y sobre todo, uno empieza a poder hacer cosas con la entidad teórica. Al principio uno puede empezar por medirla; más tarde, uno puede rociar algo con ella. Tendremos toda una serie de explicaciones de ella incompatibles, todas las cuales, sin embargo, van a coincidir en la descripción de los poderes causales que estamos en posibilidad de utilizar al intervenir en la naturaleza. (A menudo las ideas de Putnam se presentan junto con ideas acerca de la esencia y la necesidad más atribuibles a Saul

Kripke. Aquí subrayo sólo la parte pragmática y práctica de la explicación de Putnam sobre el nombrar.)

MÁS ALLÁ DE LA FÍSICA

A diferencia del materialista, el causalista puede someter a consideración si acaso el superyó o el capitalismo tardío son reales. Cada caso debe evaluarse por separado. Uno puede concluir que el inconsciente colectivo de Jung no es real, mientras que la conciencia colectiva de Durkheim es real. ¿Entendemos bien qué hacen estos objetos o procesos? ¿Podemos intervenir y desplegarlos de nuevo? Las mediciones no son suficientes. Podemos medir el IQ [coeficiente intelectual] y alardear de que una docena de técnicas diferentes nos dan el mismo resultado estable, pero no tenemos la menor comprensión causal. En una polémica reciente, Jay Gould habla de la "falacia de la reificación" en la historia del IQ: yo estoy de acuerdo.

El causalismo no es desconocido en las ciencias sociales. Un ejemplo es Max Weber (1864–1920), uno de sus fundadores. Él tiene una doctrina famosa de los tipos ideales. Al usar la palabra "ideal" era muy consciente de su historia filosófica. El uso que él le da contrasta con lo "real". Lo ideal es una concepción de la mente humana, un instrumento del pensamiento (y no hay nada malo en esto). Así como Cartwright en nuestro tiempo, él se oponía "al prejuicio naturalista de que la finalidad de las ciencias sociales debe ser reducir la realidad a 'leyes' ". En una precavida observación acerca de Marx, Weber escribe:

> Todas las "leyes" específicamente marxistas y los constructos desarrollistas, en tanto que son teóricamente correctos, son tipos ideales. El significado eminente, ciertamente *heurístico* de estos tipos ideales, cuando se los utiliza para la evaluación de la realidad, lo conocen todos los que han empleado conceptos e hipótesis marxistas. Similarmente, en cuanto se los piensa como "fuerzas efectivas", o "tendencias", etc., válidas empíricamente o reales (*i.e.*, verdaderamente metafísicas), todos los que los han utilizado saben cuán perniciosos pueden ser.[4]

No se puede provocar más controversia que citando a Marx y a Weber uno detrás del otro. Lo que queremos ilustrar es, sin embargo, algo modesto. Podemos enumerar las lecciones:

[4] "Objectivity in Social Science and Social Policy", original alemán, 1904, en Max Weber, *The Methodology of the Social Sciences*, E.A. Shils y H. A. Finch (comps. y trads.), Nueva York, 1949, p. 103.

1. El materialista, como Smart, no puede asignarle un significado directo a la realidad de las entidades de las ciencias sociales.
2. El causalista lo puede hacer.
3. El causalista puede de hecho rechazar la realidad de cualquier entidad que se haya propuesto en la teoría de las ciencias sociales; materialistas y causalistas pueden ser igualmente escépticos, aunque no más que los padres fundadores.
4. La doctrina de Weber de los tipos ideales promueve una actitud causalista con respecto a las leyes de las ciencias sociales. Él la usa en un sentido negativo. Él sostiene que, por ejemplo, los tipos ideales de Marx no son reales precisamente porque no tienen poderes causales.
5. El causalista puede distinguir alguna ciencia social de alguna ciencia física sobre la base de que la segunda ha encontrado algunas entidades cuyas propiedades causales se entienden bien, mientras que la primera no las ha encontrado.

La lección más importante aquí es que por lo menos ciertas versiones del realismo científico pueden utilizar la palabra "real" de manera muy similar a la que Austin considera corriente. La palabra no es notoriamente ambigua. No es particularmente profunda. Es una palabra-pantalón-ávida-de-sustantivos. Marca un contraste. El contraste que marca depende del nombre o de la frase sustantiva *N* a la que modifica o se considera que modifica. Así, depende de la manera en la que varios candidatos a ser *N* no consiguen ser *N*. Si el filósofo está sugiriendo una nueva doctrina, o un nuevo contexto, entonces uno debería especificar por qué las líneas de fuerza, o el inconsciente, no consiguen ser entidades reales. Smart nos dice que las entidades son para construir. Cartwright nos dice que son causas. Ambos autores niegan, por diferentes razones, que varios candidatos a entidades reales sean, de hecho, reales. Ambos son realistas científicos acerca de ciertas entidades, pero puesto que usan la palabra "real" para generar diferentes contrastes, el contenido de sus "realismos" es diferente. Ahora veremos que lo mismo puede pasar con los antirrealistas.

3

EL POSITIVISMO

Durante mucho tiempo ha habido una tradición antirrealista que, a primera vista, no parece preocuparse de lo que significa la palabra "real". Simplemente dice: no hay electrones, ni ninguna otra entidad teórica. De manera menos dogmática, dice que no tenemos buenas razones para suponer que tales cosas existan; tampoco tenemos esperanza de mostrar que sí existan. De nada puede saberse que es real excepto de lo que puede ser observado.

La tradición puede incluir al *Tratado de la naturaleza humana* (1739) de David Hume. Su más distinguido ejemplo contemporáneo es *La imagen científica* (1980) de Bas van Fraassen. Encontramos precursores de Hume incluso en la antigüedad, y seguiremos encontrando esta tradición en el futuro. La llamaré *positivismo*. No hay nada en el nombre, salvo que hace recordar algunas cosas. El nombre ni siquiera se había inventado en los tiempos de Hume. A Hume por lo general se lo clasifica como un empirista. Van Fraassen se llama a sí mismo un empirista constructivo. Ciertamente, cada generación de filósofos con un marco mental positivista les da una nueva forma a las ideas básicas y con frecuencia selecciona una nueva etiqueta. Todo lo que quiero es una manera fácil de referirme a esas ideas, y ninguna me sirve mejor que "positivismo".

SEIS INSTINTOS POSITIVISTAS

Las ideas básicas son las siguientes: (1) Un hincapié en la *verificación* (o alguna variante como la *falsabilidad*): las proposiciones significativas son aquellas cuya verdad o falsedad puede determinarse de alguna manera. (2) *Proobservación*: lo que podemos ver, tocar y recibir por los demás sentidos proporciona el mejor contenido o fundamento para el resto de nuestro conocimiento no matemático. (3) *Anticausa*: no hay causalidad en la naturaleza, más allá de la constancia con que los sucesos de un tipo son seguidos por sucesos de otro tipo. (4) *Restar importancia a las explicaciones*: las

explicaciones pueden ayudar a organizar fenómenos, pero no proporcionan ninguna respuesta más profunda a las preguntas sobre porqués, excepto para decir que los fenómenos ocurren regularmente de tal y cual manera. (5) *Entidades antiteóricas*: los positivistas tienden a ser no realistas, no sólo porque restringen la realidad a lo que es observable, sino también porque están en contra de las causas y de explicaciones dudosas. No van a inferir la existencia de electrones a partir de sus efectos causales porque rechazan las causas, y sostienen que solamente hay regularidades constantes entre fenómenos. (6) Los positivistas recapitulan los puntos del (1) al (5) al *oponerse a la metafísica*. Las proposiciones no contrastables, las entidades no observables, las causas, las explicaciones profundas: éstas, dice el positivista, son metafísica y deben dejarse de lado.

Ilustraré versiones de estos seis temas a través de cuatro periodos: Hume (1739), Comte (1830–1842), el positivismo lógico (1920–1940) y van Fraassen (1980).

LOS POSITIVISTAS DECLARADOS

El nombre "positivismo" fue inventado por el filósofo francés Augusto Comte. Su *Curso de filosofía positiva* fue publicado en gruesos volúmenes entre 1830 y 1842. Más adelante él dijo que había elegido la palabra "positivo" para capturar una serie de valores que requerían recalcarse en esa época. Nos dice que eligió la palabra "positivo" debido a sus connotaciones afortunadas. En las principales lenguas de Europa Occidental, "positivo" tenía connotaciones de realidad, utilidad, certeza, precisión y otras cualidades que Comte tenía en estima.

Hoy en día, cuando los filósofos hablan de "los positivistas" no se refieren, por lo general, a la escuela de Comte, sino a los positivistas lógicos que formaron un famoso grupo de discusión filosófica en Viena alrededor de 1920. Moritz Schlick, Rudolf Carnap y Otto Neurath estaban entre sus miembros más famosos. Karl Popper, Kurt Gödel y Ludwig Wittgenstein también asistieron a algunas de sus reuniones. El Círculo de Viena tenía vínculos cercanos con el grupo de Berlín, en donde Hans Reichenbach era una figura central. Durante el régimen nazi estos trabajadores se fueron a Estados Unidos o a Inglaterra y formaron una tradición filosófica totalmente nueva. Además de las figuras que ya he mencionado, tenemos a Herbert Feigl y C.G. Hempel. También el joven inglés A.J. Ayer fue a Viena al principio de la década de los treinta y regresó para escribir su maravilloso tratado del positivismo lógico inglés, *Lenguaje, verdad y lógica* (1936). Al

mismo tiempo, Willard v.O. Quine hizo una visita a Viena que plantó las semillas de sus dudas acerca de algunas de las tesis positivistas, semillas que después florecieron en la famosa negación de Quine de la distinción entre lo analítico y lo sintético y en la doctrina de la indeterminación de la traducción.

Tan extendida influencia hace natural llamar a los positivistas lógicos simplemente positivistas. ¿Quién se acuerda del pobre y viejo Comte, enredado, pesado y sin éxito en la vida? Pero cuando hable estrictamente voy a usar el nombre completo de "positivismo lógico", guardando la etiqueta de "positivismo" para el sentido más antiguo. Entre los rasgos característicos del positivismo lógico, además de los puntos del (1) al (6), tenemos la importancia que otorgan a la lógica, el significado y el análisis del lenguaje. Estos intereses son extraños a los primeros positivistas. Para la filosofía de la ciencia en realidad yo prefiero el positivismo antiguo sólo porque no está obsesionado por una teoría del significado.

La reacción edípica usual se ha establecido. A pesar del impacto del positivismo lógico en la filosofía de lengua inglesa, ahora nadie quiere llamarse positivista. Incluso los positivistas lógicos favorecen la etiqueta de "empirismo lógico". En Alemania y Francia el "positivismo" es, en muchos círculos, un término oprobioso que se refiere a una obsesión con las ciencias naturales y un desprecio por las rutas alternativas del entendimiento en las ciencias sociales. Se tiende a asociar, incorrectamente, con una ideología conservadora o reaccionaria.

En *La disputa positivista en la sociología alemana*, compilada por Theodore Adorno, vemos a profesores de sociología alemanes y a sus colegas filósofos —Adorno, Jürgen Habermas y otros— atacando a Karl Popper, al que ellos llaman positivista. Popper rechaza esta etiqueta porque siempre se quiso disociar del positivismo lógico. Popper no comparte suficientes de los puntos (1) a (6) como para llamarlo positivista. Él es un realista acerca de las entidades teóricas, y sostiene que la ciencia trata de descubrir explicaciones y causas. Él no tiene la obsesión positivista con la observación y los datos de los sentidos. A diferencia de los positivistas lógicos, él pensaba que la teoría del significado es un desastre para la filosofía de la ciencia. Es cierto que define la ciencia como la clase de las proposiciones contrastables, pero, lejos de rechazar la metafísica, piensa que la especulación metafísica no contrastable es un primer paso en la formación de conjeturas contrastables más arriesgadas.

¿Entonces por qué los profesores de sociología antipositivista llaman a Popper un positivista? *Porque cree en la unidad del método científico.* Plantear hipótesis, deducir consecuencias, contrastarlas: éste es el método

popperiano de conjeturas y refutaciones. Él niega que haya una técnica peculiar de las ciencias sociales, ningún *Verstehen* que sea diferente de lo que es lo mejor para la ciencia natural. En esto él está de acuerdo totalmente con los positivistas lógicos. Pero voy a conservar "positivismo" como nombre para la colección de ideas antimetafísicas del (1) al (6), más que para el dogma de la unidad de la metodología científica. Al mismo tiempo acepto que cualquiera que tema un entusiasmo por el rigor científico vea poca diferencia entre Popper y los miembros del Círculo de Viena.

ANTIMETAFÍSICA

Los positivistas han sido buenos para los eslogans. Hume dio la pauta con las frases resonantes con las que concluye su *Investigación sobre el entendimiento humano*:

> Si procediéramos a revisar las bibliotecas convencidos de estos principios, ¡qué estragos no haríamos! Si cogemos cualquier volumen de teología o metafísica escolástica, por ejemplo, preguntemos: *¿Contiene algún razonamiento abstracto sobre la cantidad y el número?* No. *¿Contiene algún razonamiento experimental acerca de cuestiones de hecho o existencia?* No. Tírese entonces a las llamas, pues no puede contener más que sofistería e ilusión.

En la introducción a su antología *El positivismo lógico*, A.J. Ayer dice que ésta "es una formulación excelente de la posición positivista". En el caso de los positivistas lógicos el epíteto "lógico" se agregó porque querían anexar los descubrimientos de la lógica moderna. Hume, pues, es el origen del criterio de verificación que intentaba distinguir entre el sinsentido (la metafísica) y el discurso sensible (básicamente la ciencia). Ayer empezó su *Lenguaje, verdad y lógica* con un poderoso capítulo llamado "La eliminación de la metafísica". Los positivistas lógicos, con su pasión por el lenguaje y los significados, combinaban su desprecio por la metafísica vacía con la doctrina del "principio de la verificación" orientado a los significados. Schlick sostenía que el significado de un enunciado es su método de verificación. A grandes rasgos, un enunciado sería significativo, tendría "significado cognoscitivo", si y sólo si era verificable. Sorprendentemente, nunca nadie fue capaz de definir la verificabilidad de manera tal que se excluyera toda la mala conversación metafísica y se incluyera todo el buen discurso científico.

Los prejuicios antimetafísicos y una teoría verificacionista del significado están relacionados en gran medida por un accidente histórico. Comte era,

ciertamente, un gran antimetafísico sin interés en el estudio de los "significados". Igualmente, en nuestros días van Fraassen se opone a la metafísica. Él comparte mi opinión de que cualquiera que sea el interés en la filosofía del lenguaje, tiene poco valor para la comprensión de la ciencia. Al principio de *La imagen científica* escribe: "Mi propia posición es que el empirismo es correcto, pero que no podía perdurar en la forma lingüística que los positivistas [lógicos] le dieron" (p. 18).

COMTE

Augusto Comte es un producto de la primera mitad del siglo XIX. Lejos de formular el empirismo en una forma lingüística, lo hacía de manera historicista: esto es, creía firmemente en el progreso humano y en la casi inevitabilidad de las leyes históricas. Se piensa a veces que el positivismo y el historicismo no se llevan: por el contrario, para Comte son partes complementarias de las mismas ideas. Efectivamente, el historicismo y el positivismo no están necesariamente más separados de lo que están relacionados la teoría del significado y el positivismo.

El modelo de Comte fue el apasionado *Ensayo sobre los progresos del espíritu humano*, dejado como herencia a la humanidad progresista por el radical aristócrata Condorcet (1743–1794). Este documento fue escrito justo antes de que Condorcet se suicidara en la celda de la que, a la mañana siguiente, debía partir hacia la guillotina. Ni siquiera el Terror de la Revolución Francesa, en 1794, pudo quitarle su fe en el progreso. Comte heredó de Condorcet una estructura de la evolución del espíritu humano. Ésta se define por la ley de los tres estadios. Al principio atravesamos el estadio teológico, caracterizado por la búsqueda de causas primeras y de divinidades ficticias. Luego pasamos por un periodo metafísico, en el que gradualmente se sustituyeron los dioses por las entidades teóricas de la ciencia incompleta. Finalmente progresamos al estadio de la ciencia positiva.

La ciencia positiva permite que las proposiciones se cuenten como verdaderas-o-falsas si y sólo si hay una manera de determinar sus valores de verdad. *El curso de filosofía positiva* de Comte es una grandiosa historia epistemológica del desarrollo de las ciencias. Conforme se formulan cada vez más estilos de razonamiento científico, se constituyen cada vez más y más dominios de conocimiento positivo. Las proposiciones no pueden tener "positividad" —ser candidatos para verdad-o-falsedad— a menos que haya un estilo de pensamiento que tenga relación con su valor de verdad y que pueda en principio determinar ese valor de verdad. Comte, el inventor de

la palabra "sociología", trató de diseñar una nueva metodología, un nuevo estilo de razonamiento, para el estudio de la sociedad y de la "ciencia moral". Estaba equivocado en su propia visión de lo que era la sociología, pero en lo correcto en su metaconcepción de lo que estaba haciendo: un nuevo estilo de razonamiento para traer la positividad —verdad-o-falsedad— a un nuevo dominio de discurso.

La teología y la metafísica, decía Comte, fueron estadios iniciales en el desarrollo humano, y deben abandonarse como algo perteneciente a nuestra niñez. Esto no equivale a decir que debemos habitar un mundo desprovisto de valores. En la última parte de su vida, Comte fundó una iglesia positivista que establecería las virtudes humanistas. Esta iglesia no está totalmente extinta: algunos edificios medio derruidos pueden encontrarse en París, y me han dicho que en Brasil todavía hay reductos de esta institución. Hace mucho tiempo floreció, en colaboración con muchas otras sociedades humanistas, en muchas partes del mundo. Así, el positivismo no fue sólo una filosofía cientificista, sino que fue también una nueva religión humanista.

ANTICAUSA

Hume notoriamente dijo que la causa es sólo una conjunción constante. Decir que *A* causó *B* no quiere decir que *A*, debido a algún poder o característica interna, llevó a cabo *B*. Sólo quiere decir que las cosas del tipo *A* son regularmente seguidas por cosas del tipo *B*. Los detalles del argumento de Hume se analizan en cientos de libros de filosofía. Podemos, sin embargo, perdernos de mucho si leemos a Hume fuera de su contexto histórico.

Hume, de hecho, no es responsable de la aceptación filosófica tan amplia que ha tenido la idea de que la causalidad puede entenderse como conjunción constante. Issac Newton fue, sin querer, el responsable de esta aceptación. En los tiempos de Hume se consideraba que el gran triunfo del espíritu humano era la teoría de la gravitación de Newton. Newton era tan circunspecto respecto a la metafísica de la gravedad que los eruditos seguirán discutiendo hasta el fin de los tiempos acerca de lo que Newton realmente pensaba. Inmediatamente antes de Newton, todos los científicos progresistas pensaban que el mundo debía entenderse en términos de empujes y jalones mecánicos. Pero la gravedad no parecía ser "mecánica", puesto que era una acción a distancia. Por esta razón, Leibniz, el único contemporáneo comparable a Newton, rechazó totalmente la gravitación newtoniana: el espíritu positivista triunfó sobre Leibniz. Aprendimos a pensar que las leyes de la gravitación son regularidades que describen lo que pasa en el

mundo. ¡Entonces decidimos que todas las leyes causales son meras regularidades!

Para personas con una mente empirista, la actitud posnewtoniana era, entonces, ésta: no debemos buscar causas en la naturaleza, sólo regularidades. No deberíamos considerar las leyes de la naturaleza reveladoras de lo que tiene que pasar en el universo, sino sólo de lo que efectivamente pasa. El científico natural trata de encontrar enunciados universales —teorías y leyes— que abarquen todos los fenómenos como casos especiales. Decir que hemos encontrado una explicación de un suceso es sólo decir que el suceso puede deducirse de una regularidad general.

Hay muchos enunciados clásicos de esta idea. He aquí uno de *Essays on the Active Powers of the Human Mind* de Thomas Reid (1788). Reid fue uno de los fundadores de lo que a menudo se llama la Escuela Escocesa del Sentido Común. Fue importada a Estados Unidos y allí llegó a ser la filosofía principal hasta el advenimiento del pragmatismo, al final del siglo XIX.

> Los filósofos naturales, que son pensadores cuidadosos, tienen un significado preciso para los términos que usan en la ciencia; y cuando pretenden mostrar la causa de cualquier fenómeno de la naturaleza, ellos por causa quieren decir una ley de la naturaleza de la cual el fenómeno es una consecuencia necesaria.
>
> Todo el objetivo de la filosofía natural, como Newton ha dicho expresamente, es reducible a estas dos divisiones: primero, descubrir las leyes de la naturaleza sólo por inducción a partir del experimento y de la observación; y luego aplicar estas leyes a la solución de los fenómenos de la naturaleza. Esto fue todo lo que este gran filósofo intentó, y todo lo que consideraba alcanzable. (I. vii. 6)

Comte dice algo similar en su *Curso de filosofía positiva*:

> La primera característica de la filosofía positiva es que considera que todos los fenómenos están sujetos a leyes naturales invariables. Nuestra tarea consiste en descubrir con precisión estas leyes —teniendo en cuenta lo vana que es cualquier investigación sobre las llamadas *causas*, ya sean éstas primeras o últimas— con miras a reducirlas al menor número posible. Especular sobre las causas no resuelve ninguna dificultad acerca de su origen y propósito. Nuestra verdadera tarea es analizar cuidadosamente las circunstancias de los fenómenos, y conectarlas a través de las relaciones naturales de sucesión y semejanza. La mejor ilustración de esto la tenemos en el caso de la doctrina de la gravitación. Decimos que los fenómenos generales del universo *se explican* por esta ley, porque unifica la inmensa variedad de hechos astronómicos; exhibe la tendencia constante de los átomos de acercarse mutuamente en proporción

> directa a sus masas, y en proporción inversa a los cuadrados de la distancia entre ellos, si bien el hecho general es una mera extensión de algo que nos es muy familiar, el peso de los cuerpos en la superficie de la tierra, y que por ello decimos conocer. Consideramos insolubles las preguntas acerca de lo que son el peso y la atracción, no forman parte de la filosofía positiva y con razón las dejamos a la imaginación de los teólogos y a la sutileza de los metafísicos. (París, 1830, pp. 14–16.)

El positivismo lógico aceptó también la explicación humeana de las causas como conjunción constante. Las leyes de la naturaleza, en la máxima de Moritz Schlick, *describen* lo que pasa, pero no lo *prescriben*. Dan cuenta de regularidades y nada más. La concepción de la explicación del positivismo lógico fue finalmente resumida en el modelo "nomológico-deductivo" de explicación de C.G. Hempel. Para explicar un suceso cuya ocurrencia se describe en una oración *O* se requiere la presencia de algunas leyes de la naturaleza (*i.e.* regularidades) *L* y de algunos hechos particulares *H*, y mostrar que la oración *O* se deduce de las oraciones que formulan *L* y *H*. Van Fraassen, quien tiene una teoría de la explicación interesantemente más sofisticada, comparte la hostilidad tradicional del positivismo hacia las causas. En su libro las llama despectivamente "juegos de la imaginación" (ya que las causas son todavía peores, según su libro, que la explicación).

ENTIDADES ANTITEÓRICAS

La oposición a las entidades no observables va de la mano con una oposición a las causas. El desdén de Hume por las ciencias postuladoras de entidades de sus días está formulado en una prosa irónica, como siempre. Él admira al químico del siglo XVII Robert Boyle por sus experimentos y por su manera de razonar, pero no por su filosofía corpuscular y mecánica según la cual el mundo está compuesto de pequeñas bolas elásticas o resortes. En el capítulo LXII de su gran libro *History of England*, nos dice que "Boyle era muy partidario de la filosofía mecánica, una teoría que, al descubrir algunos de los secretos de la naturaleza y permitirnos imaginar el resto, es muy compatible con la vanidad natural y la curiosidad de los hombres". Isaac Newton, "el más raro y más grande de los genios que jamás hayan surgido para el ornamento y la instrucción de la especie", es mejor maestro que Boyle: "Mientras que Newton parecía estar develando algunos de los misterios de la naturaleza, mostraba, al mismo tiempo, las imperfecciones de la filosofía mecánica, y por lo tanto devolvió estos secretos últimos a la oscuridad en la que siempre han estado y siempre estarán."

Hume muy pocas veces niega que el mundo esté gobernado por causas ocultas y secretas. Él niega que sean de nuestra incumbencia. La vanidad natural y la curiosidad de nuestra especie pueden orillarnos a la búsqueda de partículas fundamentales, pero la física no va a tener éxito. Las causas fundamentales siempre han estado refundidas en la oscuridad, y allí permanecerán.

La oposición a las entidades teóricas se encuentra a lo largo y a lo ancho del positivismo. Comte admitía que no podemos simplemente generalizar a partir de las observaciones, sino que debemos proceder por medio de hipótesis. Éstas deben ser consideradas, sin embargo, sólo como hipótesis, y mientras más cosas postulan, más se alejan de la ciencia positiva. En términos prácticos, Comte se oponía al éter newtoniano, que pronto se convertiría en el éter electromagnético que llenaba todo el espacio. Se oponía igualmente a la hipótesis atomista. Ganas una, pierdes una.

Los positivistas lógicos desconfiaban de las entidades teóricas de manera diferente. La estrategia general era el empleo de la lógica y el lenguaje. Les llamó la atención una hoja del cuaderno de Bertrand Russell. Russell pensaba que en tanto que fuera posible, las entidades inferidas debían reemplazarse por construcciones lógicas. Esto es, un enunciado que implica una entidad cuya existencia es meramente inferida de los datos, debe reemplazarse por un enunciado lógicamente equivalente acerca de los datos. En general, estos datos están íntimamente conectados con la observación. De esta manera surgió un gran programa reduccionista para los lógicos positivistas, que esperaban que todos los enunciados que contenían términos teóricos pudieran reducirse por medio de la lógica a enunciados que no hacían referencia a esas entidades. El fracaso de este proyecto fue todavía mayor que el fracaso en tratar de enunciar el principio de la verificación.

Van Fraassen mantiene la antipatía positivista hacia las entidades teóricas. Es más, no nos permite ni siquiera hablar de entidades teóricas: según él, a lo que nos queremos referir es a entidades no observables. Éstas, puesto que no pueden verse, deben ser inferidas. La estrategia de van Fraassen consiste en bloquear cualquier inferencia hacia la verdad de nuestras teorías o hacia la existencia de sus entidades.

CREER

Hume no creía en las bolitas elásticas invisibles o átomos de la filosofía mecánica de Robert Boyle. Newton nos había mostrado que tenemos que restringirnos a la búsqueda de las leyes naturales que conectan los fenó-

menos. No deberíamos permitir que nuestra vanidad imagine que podemos buscar exitosamente las causas.

Comte tampoco creía en los átomos ni en el éter de la ciencia de su tiempo. Necesitamos hacer hipótesis para saber cómo investigar la naturaleza, pero el conocimiento positivo debe estar al nivel de los fenómenos cuyas leyes puedan determinarse con precisión. Esto no quiere decir que Comte fuera un ignorante de la ciencia. Fue instruido por los grandes físicos teóricos y estudiosos de las matemáticas aplicadas de su tiempo. Creía en las leyes fenomenológicas pero desconfiaba de cualquier ofensiva encaminada a postular nuevas entidades.

El positivismo lógico no tenía oportunidades tan simplistas. Los miembros del Círculo de Viena creían en la física de su tiempo: algunos habían incluso hecho contribuciones a ella. El atomismo y el electromagnetismo habían sido establecidos mucho tiempo atrás, la relatividad era un éxito comprobado y las teorías cuánticas avanzaban a grandes zancadas. En este ambiente surgió la versión extrema del positivismo lógico, una doctrina reduccionista. Se proponía que en principio hay transformaciones lingüísticas y lógicas en los enunciados de las teorías que las reducirían a enunciados acerca de fenómenos. Tal vez, cuando hablamos de átomos y de corrientes y cargas eléctricas no debemos ser entendidos literalmente, puesto que los enunciados que usamos son reducibles a enunciados acerca de fenómenos. Los lógicos de cierta manera mostraron el camino. F.P. Ramsey mostró cómo eliminar los nombres de entidades teóricas en las teorías, utilizando en su lugar un sistema de cuantificadores. William Craig demostró que para cualquier teoría axiomatizable que incluya términos observacionales y teóricos, existe una teoría axiomatizable que sólo incluye términos observacionales. Pero estos resultados no tenían exactamente el efecto deseado por los positivistas lógicos. Tampoco había una sola reducción lingüística de alguna ciencia genuina. Esto contrastaba en gran medida con los notables éxitos parciales por medio de los cuales las teorías científicas más superficiales habían sido reducidas a teorías más profundas, por ejemplo, la manera como la química analítica se fundamentaba en la química cuántica, o la manera como la teoría de los genes se transformaba en la biología molecular. Los intentos de reducción científica —reducción de una teoría empírica a una más profunda— contaban con una serie de éxitos parciales, pero los intentos de reducción lingüística no llevaban a ningún lado.

ACEPTACIÓN

Hume y Comte juntaron todo lo referente a las partículas fundamentales y dijeron: no creemos en eso. El positivismo lógico creía en eso, pero decía que en un sentido no deben entenderse literalmente; nuestras teorías realmente hablan acerca de fenómenos. Ninguna de estas opciones está abierta al positivismo contemporáneo, ya que los programas de reducción lingüística fallaron, mientras que por el otro lado uno no puede rechazar en bloque la ciencia teórica moderna. Aun así, van Fraassen encuentra una manera, distinguiendo entre creencia y aceptación.

En contra de los positivistas lógicos, van Fraassen dice que la teorías deben tomarse literalmente. ¡No hay otra manera de entenderlas! En contra del realista, nos dice que no tenemos por qué creer que las teorías son verdaderas. Nos invita en vez de eso a utilizar otros dos conceptos: *aceptación* y *adecuación empírica*. Él define el realismo científico como la filosofía que sostiene que "la ciencia se propone darnos, en sus teorías, un relato literalmente verdadero de cómo es el mundo; y la aceptación de una teoría científica conlleva la creencia de que es verdadera" (p. 24). Su propio *empirismo constructivo* asevera en vez de eso que "la ciencia se propone ofrecernos teorías que son empíricamente adecuadas; y la aceptación de una teoría conlleva solamente la creencia de que es empíricamente adecuada" (p. 28).

Van Fraassen nos dice que "no hay necesidad de creer que las buenas teorías son verdaderas, ni de creer, *ipso facto*, que las entidades que postulan existen realmente". El "*ipso facto*" nos recuerda que van Fraassen no hace mucha distinción entre el realismo acerca de las teorías y el realismo acerca de las entidades. Yo digo que uno podría creer que las entidades son reales, pero no porque uno crea que alguna teoría es verdadera, sino por otras razones.

Un poco más adelante van Fraassen explica esta idea así: "aceptar una teoría es (para nosotros) creer que es empíricamente adecuada: que todo cuanto la teoría dice *acerca de lo que es observable* (por nosotros) es verdadero" (p. 35). Las teorías son instrumentos intelectuales de predicción, control, investigación y mero deleite. La aceptación significa un compromiso, entre otras cosas. La aceptación de una teoría en nuestra área de investigación nos compromete con el desarrollo del programa de investigación que sugiere. Podemos aceptar incluso que proporciona explicaciones. Pero debemos rechazar lo que ha sido llamado la inferencia hacia la mejor explicación: aceptar una teoría porque aclara algo no debe llevarnos a pensar que lo que la teoría dice es literalmente verdadero.

Van Fraassen es el positivista contemporáneo más coherente. Comparte los seis puntos por medio de los cuales defino el positivismo, y que también comparten Hume, Comte y los positivistas lógicos. Naturalmente, le faltan la psicología de Hume, el historicismo de Comte y las teorías del significado del positivismo lógico, pero estas doctrinas no son esenciales al espíritu positivista. Van Fraassen comparte con sus predecesores su *antimetafísica*: "La afirmación de adecuación empírica es bastante más débil que la afirmación de verdad, y la resistencia a aceptar nos libra de la metafísica" (p. 94). Él es *proobservación* y *anticausa*. *Concede poco valor a la explicación*; no piensa que la explicación nos lleve a la verdad. Por cierto, como Hume y Comte, cita el caso clásico de la incapacidad de Newton para explicar la gravedad como la prueba de que la ciencia no es esencialmente una cuestión de explicación (p. 122). Claramente está en contra de las *entidades teóricas*. Así, pues, sostiene cinco de las seis doctrinas positivistas. La única que queda es la que se refiere a la *verificación* o alguna de sus variantes. Van Fraassen no suscribe la teoría verificacionista del significado del positivismo lógico. Tampoco Comte. Ni Hume, creo yo, aunque Hume sí tenía una máxima no verificable para quemar libros. El entusiasmo positivista por la verificación estuvo sólo temporalmente asociado con el significado, en los días del positivismo lógico. Más generalmente, representa un deseo por una ciencia positiva, por conocimiento que pueda tomarse como verdadero, y cuyos hechos puedan determinarse con precisión. El positivismo constructivista de van Fraassen comparte este entusiasmo.

ANTIEXPLICACIÓN

Muchas tesis positivistas eran en los días de Comte más atractivas que ahora. En 1840, las entidades teóricas postuladas eran totalmente hipotéticas, y el disgusto por lo meramente postulado es el principio de mucha filosofía de calidad. Pero, cada vez más, incluso hemos llegado a ver lo que en un momento simplemente se postuló: microbios, genes, incluso moléculas. También hemos aprendido cómo utilizar las entidades teóricas para manipular otras partes del mundo. Esta base para el realismo de las entidades se examinará más adelante, en los capítulos 10 y 16. Sin embargo, un tema positivista se destaca muy bien: el cuidado frente a la explicación.

La idea de "inferencia hacia la mejor explicación" es bastante antigua. C.S. Peirce (1839–1914) la llamaba el método de la hipótesis, o abducción. La idea es que si, enfrentados a algún fenómeno, encontramos una explicación (tal vez con cierta plausibilidad inicial) que le dé sentido a lo que de otra

manera es inexplicable, entonces deberíamos concluir que la explicación es probablemente correcta. Al principio de su carrera, Peirce pensó que había tres modos fundamentales de inferencia en la ciencia: deducción, inducción e hipótesis. Conforme se hizo viejo se volvió más escéptico respecto de la tercera categoría, y hacia el final de su vida no le otorgaba ninguna importancia de peso a la "inferencia hacia la mejor explicación".

¿Estaba Peirce en lo correcto al retractarse por completo? Creo que sí, pero no lo tenemos que decidir ahora. Lo que nos interesa es únicamente la inferencia hacia la mejor explicación como un argumento para el realismo. La idea básica fue enunciada por H. Helmholtz (1821–1894), el gran contribuyente a la fisiología, la óptica, la electrodinámica y otras ciencias en el siglo XIX. Helmholtz era también un filósofo que llamaba al realismo "una hipótesis admirablemente útil y precisa".[1] Parece haber tres argumentos distintos en circulación. Los llamaré el argumento de la inferencia simple, el argumento del accidente cósmico y el argumento del éxito de la ciencia.

Soy escéptico respecto de los tres. Debo empezar por decir que la explicación puede desempeñar una función menos central en el razonamiento científico de lo que algunos filósofos se imaginan. *La* explicación de un fenómeno tampoco es uno de los ingredientes del universo, como si el Autor de la Naturaleza hubiera escrito varias cosas en el Libro del Mundo —las entidades, los fenómenos, las cantidades, las cualidades, las leyes, las constantes numéricas y también las explicaciones de los sucesos. Las explicaciones son relativas a los intereses humanos. No niego que haya explicaciones en la vida intelectual —"sentir que la llave da vuelta en la cerradura", como lo expresa Peirce. Pero esto es en gran medida una característica de las circunstancias históricas o psicológicas de un momento. Hay momentos en los que sentimos que ganamos algo importante por medio de la organización de nuevas hipótesis explicativas. Pero este sentimiento no es una base para suponer que la hipótesis es verdadera. Van Fraassen y Cartwright recalcan que una explicación nunca es base para creer. Soy menos estricto que ellos: a mí me parece, como a Peirce, que no es más que una base débil. En 1905, Einstein explicó el efecto fotoeléctrico con una teoría de fotones. De esta manera hizo atractiva la noción de un haz de luz cuantificado. Pero la base para creer en la teoría es su poder predictivo y otras cosas por el estilo, no su poder explicativo. Sentir que la llave da vueltas en la cerradura nos da una sensación de que tenemos una nueva

[1] "On the Aim and Progress of Physical Science" (original alemán, 1871), en H. von Helmholtz, *Popular Lectures and Addresses on Scientific Subjects*, trad. D. Atkinson, Londres, 1873, p. 247.

idea con que trabajar. No es una base para la verdad de la idea: eso viene después.

LA INFERENCIA SIMPLE

El argumento de la inferencia simple dice que sería un perfecto milagro si, por ejemplo, el efecto fotoeléctrico funcionara sin que hubiera fotones. La explicación de la persistencia de este fenómeno —por medio del cual la información de la televisión convierte imágenes en impulsos eléctricos que se transforman en ondas electromagnéticas, que a su vez son recibidas por el aparato receptor casero— es que los fotones existen. J.J.C. Smart expresa así la idea: "Uno tendría que suponer que hay innumerables accidentes afortunados acerca del comportamiento mencionado en el vocabulario observacional, de tal manera que se comportaran milagrosamente *como si* fueran producto de las cosas no existentes de las que aparentemente se habla en el vocabulario teórico."[2] El realista infiere entonces que los fotones son reales porque no podríamos entender de otra manera cómo las imágenes se transforman en mensajes electrónicos.

Incluso si, al contrario de lo que he dicho, la explicación fuera una base para la creencia, esto no parece una inferencia hacia la mejor explicación en absoluto. Esto se debe a que la *realidad* de los fotones no forma parte de la explicación. No hay, después de Einstein, una explicación ulterior, como "y los fotones son reales", o "los fotones existen". Me inclino a hacer eco de Kant, para decir que la existencia es un mero predicado lógico que no le agrega nada al sujeto. Agregar que "los fotones son reales", después de que Einstein terminó, no agrega nada a nuestro entendimiento. De ninguna manera aumenta o mejora la explicación.

Si el que explica protesta diciendo que Einstein mismo creía en la existencia de fotones, entonces está haciendo una petición de principio, pues el debate entre realistas y antirrealistas se centra en el problema de si la adecuación de la teoría del fotón de Einstein requiere, en efecto, que los fotones sean reales.

[2] "Difficulties for Realism in the Philosophy of Science", en *Logic, Methodology and Philosophy of Science VI*, Proceedings of the 6th International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science, Hannover, 1979, pp. 363–375.

ACCIDENTES CÓSMICOS

El argumento de la inferencia simple considera sólo una teoría, un fenómeno y un tipo de entidad. El argumento del accidente cósmico hace notar que a menudo, en el aumento del conocimiento, una buena teoría explica diversos fenómenos que antes no se había pensado que estuvieran conectados. A la inversa, a menudo llegamos a las mismas entidades por modos de razonamiento muy diferentes. Hans Reichenbach llamaba a esto el argumento de la causa común, y ha sido revivido por Wesley Salmon.[3] Su ejemplo favorito no es el efecto fotoeléctrico, sino otro de los triunfos de Einstein. En 1905, Einstein explicó también el movimiento browniano —la manera en la que, como decimos ahora, las partículas de polen saltan de un lado a otro de manera azarosa debido a los choques de moléculas en movimiento. Cuando los cálculos de Einstein se combinan con los resultados de experimentadores cuidadosos, podemos, por ejemplo, calcular el número de Avogrado, el número de moléculas de un gas arbitrario contenido en un volumen a una temperatura y presión establecidas. Este número se ha calculado de muchas y muy distintas maneras a partir de 1815. Lo asombroso es que siempre llegamos esencialmente al mismo número por rutas muy diferentes. La única explicación es que *hay* moléculas, y que hay, en efecto, aproximadamente 6.023×10^{23} moléculas por gramo mol de cualquier gas.

Una vez más, me parece que esto da por sentada la cuestión que es el centro del debate entre realistas y antirrealistas. El antirrealista está de acuerdo en que la descripción de Einstein y otros acerca de la trayectoria media de las moléculas es un triunfo. Es un ejemplo maravilloso de una hipótesis empíricamente adecuada. El realista se pregunta por qué es empíricamente adecuada —¿no es simplemente porque hay moléculas? El antirrealista replica que la explicación no es una marca distintiva de la verdad, y que todas nuestras pruebas apuntan únicamente a la adecuación empírica. En resumen, el argumento va en círculos (que es, creo yo, lo que hacen todos los argumentos empleados en este nivel de discusión de teorías).

EL TEMA DEL ÉXITO

Las consideraciones previas tienen que ver sobre todo con la existencia de las entidades; ahora consideraremos la verdad de las teorías. Reflexio-

[3] Wesley Salmon, "Why Ask, 'Why'?" An Inquiry Concerning Scientific Explanation", Procceedings and Addresses of the *American Philosophical Association*, no. 51, 1978, pp. 683–705.

namos, no sobre un pedacito de la ciencia, sino sobre la "Ciencia", que, según dice Hilary Putnam, es un Éxito. Esto se conecta con la tesis de que la Ciencia converge en la verdad, como muchos sostienen, incluyendo W. Newton-Smith en su libro *Rationality* (1982). ¿Por qué es Exitosa la Ciencia? Debe ser porque estamos convergiendo en la verdad. La cuestión ha sido ya ampliamente discutida, y remito al lector a algunas discusiones recientes.[4] La afirmación de que aquí tenemos un "argumento" me lleva a las siguientes reconvenciones adicionales:

1. El fenómeno del aumento es, a lo mucho, un incremento monotónico en el conocimiento, no una convergencia. Esta observación trivial es importante, ya que la "convergencia" implica, de alguna manera, que sólo hay *una* cosa a la que se converge, pero "incremento" no tiene tal implicación. Puede haber pilas de conocimiento sin que haya una unidad de la ciencia que sea resultado de la suma de todas. También puede haber un aumento del entendimiento más profundo, y una generalización más extensa, sin que haya algo propiamente llamado convergencia. La física del siglo XX es testigo de ello.
2. Hay varias explicaciones meramente sociológicas del aumento del conocimiento, libres de implicaciones realistas. Algunas de ellas convierten deliberadamente en una pretensión "el aumento del conocimiento". En el análisis de Kuhn en *La estructura de las revoluciones científicas*, cuando la ciencia normal funciona bien, resuelve los acertijos que considera resolubles, y así el crecimiento ya está allí implícitamente. Después de la transición revolucionaria, las historias se reescriben de tal forma que los éxitos anteriores se ignoran por ser poco interesantes, mientras que los "interesantes" son precisamente aquellos que interesan a la ciencia posterior al cataclismo. Así, el milagroso aumento uniforme es un artefacto de la instrucción y de los libros de texto.
3. Lo que aumenta no es el cuerpo estrictamente creciente de la *teoría* (cercana a la verdad). Los filósofos inclinados por las teorías se estancan en la acumulación del conocimiento teórico —una afirmación bastante dudosa. Muchas cosas sí se acumulan. (a) Los fenómenos se acumulan. Por

[4] Entre muchos otros argumentos en favor de esta idea de la convergencia, véase R.N. Boyd, "Scientific Realism and Naturalistic Epistemology", en P.D. Asquith y R. Giere (comps.), *PSA 1980*, vol. II, Philosophy of Science Association, East Lansing, Mich., pp. 613–662, y W.H. Newton Smith, *The Rationality of Science*, Londres, 1981 [versión en castellano: *La racionalidad de la ciencia*, trad. Marco Aurelio Galmarini, Paidós, Barcelona, 1987]. Una formulación muy eficaz del punto de vista opuesto puede encontrarse en L. Laudan, "A Confutation of Convergent Realism", *Philosophy of Science*, no. 48, 1981, pp.19–49.

ejemplo, Willis Lamb está tratando de hacer óptica sin fotones. Lamb puede erradicar los fotones, pero el efecto fotoeléctrico permanecerá allí. (b) Las habilidades tecnológicas y manipulativas se acumulan, el efecto fotoeléctrico continuará abriendo las puertas de los supermercados. (c) Algo más interesante para el filósofo es que los estilos de razonamiento científico tienden a acumularse. Hemos acumulado gradualmente una serie de métodos, entre ellos los geométricos, los postulacionales, los relativos a la construcción de modelos, los estadísticos y quizás incluso los historicistas. Seguramente hay aumento de los tipos (a), (b) y (c), pero en ninguno de ellos hay una implicación acerca de la realidad de las entidades teóricas o de la verdad de las teorías.

4. Hay quizá una buena idea, que atribuyo a Imre Lakatos, y que Peirce y el pragmatismo, al que describiré más adelante, presagiaron. Es una ruta abierta al poskantiano, poshegeliano, que ha abandonado una teoría correspondentista de la verdad. Uno toma el aumento del conocimiento como un hecho, y trata de caracterizar la verdad en términos de éste. Ésta no es una explicación que asuma una realidad, sino una definición de la realidad como "aquello hacia lo que crecemos". Esto puede estar equivocado, pero por lo menos tiene una coherencia inicial. Hablo de esto en el capítulo 8, más adelante.

5. Además, hay inferencias conjeturales genuinas que pueden deducirse del aumento del conocimiento. Para citar a Peirce de nuevo, nuestros talentos para formar las expectativas más o menos correctas acerca del mundo al nivel humano pueden entenderse a partir de la teoría de la evolución. Si regularmente formáramos las expectativas equivocadas, todos estaríamos muertos. Pero parecemos tener una habilidad extraordinaria para formular estructuras que explican y predicen tanto la estructura interna de la naturaleza como la estructura de los sistemas cosmológicos más distantes. ¿En qué nos puede beneficiar, desde el punto de vista de la supervivencia, que tengamos un cerebro adaptado para el universo más pequeño y para el universo más grande? Tal vez deberíamos sospechar que las personas son en efecto seres racionales que viven en un universo racional. Peirce hizo una propuesta más instructiva, si bien improbable. Sostuvo que un materialismo estricto y una posición necesitarista son falsos. El mundo entero es lo que él llamó "una mente estéril" que está creando hábitos. Los hábitos de inferencia que formamos acerca del mundo se crean de conformidad con los mismos hábitos que el mundo utilizó mientras fue adquiriendo su espectro de regularidades. Ésta es

una conjetura metafísica extraña y fascinante que puede convertirse en una explicación del "éxito de la ciencia".

¡Cómo contrasta la imaginación de Peirce con el vacío trivial del cuento del Éxito o del argumento de la convergencia en favor del realismo! Creo que Popper es un realista autoproclamado más sabio que la mayoría cuando escribe que nunca tiene sentido preguntarnos por la explicación de nuestro éxito. Sólo podemos tener fe para esperar que continúe. Si se necesita una explicación del éxito de la ciencia, entonces digamos lo que dijo Aristóteles, que somos seres racionales que viven en un universo racional.

4

EL PRAGMATISMO

El pragmatismo es la filosofía estadounidense fundada por Charles Sanders Peirce (1839–1914) y popularizada por William James (1842–1910). Peirce era un genio inquieto que gracias a su padre obtuvo empleos en el Observatorio de Harvard y en el Estudio Costero y Geodésico de Estados Unidos. Su padre era uno de los pocos matemáticos estadounidenses distinguidos en ese entonces. En una época en que los filósofos se estaban transformando en profesores, James le consiguió un trabajo en la Universidad Johns Hopkins. Peirce generó allí un escándalo por mal comportamiento en público (como tirar un ladrillo a una amiga en la calle), por lo que el presidente de la universidad abolió todo el Departamento de Filosofía, creó un nuevo departamento y contrató de nuevo a todos, con la excepción de Peirce. A Peirce no le gustaba la popularización del pragmatismo de James, por lo que inventó un nuevo nombre para sus ideas —pragmaticismo— un nombre tan feo que, como él decía, nadie intentaría apropiárselo. La relación entre el pragmaticismo y la realidad está bien formulada en su ensayo, muchas veces reimpreso, "Some Consequences of Four Incapacities" ("Algunas consecuencias de cuatro incapacidades", 1868).

> Y ¿qué es lo que queremos decir con lo real? Es una concepción que debemos haber tenido antes de descubrir que hay cosas no reales, ilusiones; esto es, cuando nos corregimos a nosotros mismos por primera vez [...] *Lo real, entonces, es aquello a lo que, tarde o temprano, la información y el razonamiento finalmente nos conducirán*, y que es, por lo tanto, independiente de mis fantasías o de las de usted. Así, el origen mismo de la concepción de la realidad muestra que esta concepción implica esencialmente la noción de una COMUNIDAD, sin límites definidos y capaz de un aumento definido de conocimiento. Así, estas dos series de la cognición —lo real y lo irreal— consisten en aquellos hechos que, en un tiempo suficientemente futuro, la comunidad va a continuar reafirmando; y aquellos que, en las mismas condiciones, siempre va a negar. Ahora bien, una proposición cuya falsedad no puede ser nunca descubierta, y cuyo error es, por lo tanto, absolutamente no cognoscible, no contiene, según nuestro principio, ningún error. Consecuentemente, aquello que se piensa en

términos de estos hechos estables en un tiempo suficientemente futuro es lo real, es como son las cosas realmente. No hay nada, entonces, que obstaculice nuestro conocimiento de las cosas externas como son realmente, y lo más probable es que las conozcamos así en una cantidad innumerable de casos, aunque no podemos estar totalmente seguros de que así sea en cualquier caso en especial. (J. Buchler (comp.), *The Philosophy of Peirce*, pp. 247 ss.)

Precisamente esta noción es revivida en nuestros días por Hilary Putnam, cuyo "realismo interno" es el tema del capítulo 7.

EL CAMINO A PEIRCE

Peirce y Nietzsche son los dos filósofos más memorables de los que escribían hace un siglo. Ambos son herederos de Kant y Hegel. Representan maneras alternativas de responderles a estos filósofos. Ambos dieron por sentado que Kant había mostrado que la verdad no podía consistir en algún tipo de correspondencia con la realidad exterior. Ambos dieron por sentado que la caracterización como proceso y la posibilidad de progreso son características esenciales de la naturaleza del conocimiento humano. Esto lo aprendieron de Hegel.

Nietzsche nos recuerda de manera magistral cómo el mundo real llegó a ser una fábula. Un aforismo de su libro *El ocaso de los ídolos* principia con el "mundo verdadero de Platón —accesible al sabio, al virtuoso". Con Kant se llega a algo "evasivo, pálido, nórdico, königsbergiano". Entonces llega la extraña versión del subjetivismo de Zaratustra. Ésta no es la única ruta poskantiana. Peirce trató de reemplazar la verdad por el método. La verdad es el producto final de una comunidad de investigadores que persiguen cierto fin de cierta manera.

Así, pues, Peirce encuentra un sustituto objetivo para la idea de que la verdad es la correspondencia con una realidad independiente de la mente. A veces él llama a su filosofía idealismo objetivo. Está muy impresionado con la necesidad de la gente de llegar a alcanzar un conjunto estable de creencias. En un ensayo famoso sobre la fijación de la creencia, considera con toda la seriedad del caso la noción de que podamos fijar nuestras ideas siguiendo a la autoridad, o creyendo lo primero que se nos ocurra y aferrándonos a eso. Los lectores actuales con frecuencia tienen problemas con ese ensayo porque no toman en serio que Peirce creía que una Iglesia Establecida (y poderosa) era una manera muy buena de fijar nuestras creencias. Si no hay nada a lo que corresponda una creencia verdadera, ¿por qué no dejar que una iglesia fije

nuestras creencias? Puede ser muy reconfortante saber que nuestro partido tiene la verdad. Peirce rechaza esta posibilidad porque sostiene que es un hecho de la naturaleza humana (no de la verdad prehumana) que siempre habrá disidentes. Así, pues, queremos una manera de fijar creencias que se adecue a este rasgo humano. Si podemos tener un método que se estabilice internamente, que reconozca la permanente falibilidad y al mismo tiempo tienda a asentarse, entonces habremos encontrado una mejor manera de fijar nuestras creencias.

MEDICIONES REPETIDAS COMO UN MODELO DE RAZONAMIENTO

Peirce es tal vez el único filósofo de los tiempos modernos que ha sido un buen experimentador. Hizo muchas mediciones, incluyendo una determinación de la constante gravitacional. Escribió extensamente sobre la teoría del error. Estaba familiarizado con la manera en la que una sucesión de mediciones podía llegar a asentar un valor básico. La medición, en su experiencia, converge, y aquello en lo que converge es correcto por definición. Pensaba que todas las creencias humanas deberían tener esa característica. De continuarse la investigación por un tiempo suficientemente largo, debería llevarnos a una opinión estable acerca de cualquier cosa que nos interese. Peirce no pensaba que la verdad es la correspondencia con los hechos: las verdades son las conclusiones estables alcanzadas por esa COMUNIDAD interminable de investigadores.

Esta propuesta de sustituir la verdad por el método —que seguiría garantizando la objetividad científica— de repente se ha vuelto nuevamente popular. Creo que éste es el núcleo de la metodología de los programas de investigación de Imre Lakatos, que se explica en el capítulo 8. A diferencia de Peirce, Lakatos se ocupa de la abigarrada variedad de prácticas científicas, por lo que no tiene la imagen simplista del conocimiento que se estabiliza a través de un proceso mecánico de prueba y error. Más recientemente, Hilary Putnam se ha vuelto un peircista. Putnam no cree que la formulación de Peirce de lo que es el método de investigación sea la última palabra, ni plantea que haya una última palabra. Piensa que hay una noción de investigación racional en evolución, y que la verdad es lo que resultará de los resultados a los que la investigación tiende. En Putnam, hay un doble proceso limitante. Para Peirce había un método de investigación, basado en la deducción, la inducción y, hasta cierto punto, en la inferencia hacia la mejor explicación. La verdad era, a grandes rasgos, la estabilización a la que lleva cualquier uso de hipótesis, inducción y contrastación. Ése es

un proceso limitante. Para Putnam, los métodos mismos de la investigación pueden crecer, y nuevos estilos del razonamiento pueden construirse a partir de otros anteriores. Pero él espera que haya algún tipo de acumulación, no meramente el desplazamiento de un estilo de razonamiento por otro. Puede haber dos procesos de límite: uno a largo plazo que lleva a la estabilización de una "racionalidad" de modos acumulados de pensamiento, y otro, la estabilización de hechos sobre los que hay consenso, a través de estos tipos de razón en evolución.

LA VISIÓN

Peirce escribió sobre toda la gama de temas filosóficos. Se rodeó de una serie de grupos de seguidores que apenas y hablaban entre sí. Algunos lo consideran un predecesor de Karl Popper, ya que en ninguna otra parte encontramos una formulación tan aguda del método de la autocorrección en la ciencia. A los lógicos les parece que tuvo muchas premoniciones acerca de cómo se desarrollaría la lógica moderna. Los estudiosos de la probabilidad y la inducción atinadamente piensan que Peirce tenía una comprensión profunda del razonamiento probabilístico, hasta donde eso era posible en su tiempo. Peirce escribió mucho sobre una teoría de los signos oscura pero fascinante, y toda una disciplina que se autodenomina semiótica lo reverencia como su fundador. Yo creo que es importante porque fue la primera persona en articular la idea de que vivimos en un universo azaroso, un azar indeterminista que debido a las leyes de la probabilidad permite explicarnos nuestra falsa convicción de que la naturaleza está gobernada por leyes regulares. Una mirada al índice al final de este libro remitirá al lector a otras cosas que podemos aprender de Peirce. Peirce ha padecido lectores con una visión estrecha, así que se lo alaba por haber tenido un pensamiento preciso en la lógica, o una idea inescrutable acerca de los signos. Deberíamos verlo más bien como un hombre impetuoso, uno de los pocos que entendió los sucesos filosóficos de su siglo y trató de ponerles su sello. No tuvo éxito. No concluyó casi nada, pero comenzó casi todo.

LA RAMIFICACIÓN DE LOS CAMINOS

Peirce hacía hincapié en el método racional y en la comunidad de investigadores que gradualmente llegaría a estabilizar una forma de creencia. La verdad es el resultado final. Los otros dos grandes pragmatistas, William

James y John Dewey, tenían instintos muy diferentes. Ellos vivían, si no por el presente, por lo menos para el futuro próximo. Apenas se preguntaban por lo que podía pasar al final, si hubiera tal cosa. La verdad responde a nuestras necesidades presentes, o por lo menos a las necesidades que tenemos cerca. La necesidad puede ser profunda y variada, como se puede observar en las excelentes conferencias *The Varieties of Religious Experience*. Dewey nos dio la idea de que la verdad es aceptabilidad garantizada. Concebía el lenguaje como un instrumento que utilizamos para moldear nuestras experiencias, con el objeto de adecuarnos a ciertos fines. Así, el mundo y nuestra representación del mismo parece convertirse, en las manos de Dewey, en algo muy parecido a un constructo social. Dewey despreciaba todos los dualismos —mente/materia, teoría/práctica, pensamiento/acción, hecho/valor. Se burlaba de lo que él llamaba la teoría del conocimiento del espectador. Decía que ésta era el resultado de la existencia de una clase acomodada que pensaba y escribía filosofía, opuesta a una clase de empresarios y trabajadores, que no tenían tiempo para sólo ver. Mi propia opinión, a saber, que el realismo es un asunto de intervenir en el mundo, más que de representarlo en palabras y pensamiento, ciertamente le debe mucho a Dewey.

En James y Dewey hay, sin embargo, una indiferencia hacia la visión peirciana de la investigación. No les interesaban las creencias que establecemos a la larga. La fijación final de la creencia les parecía una quimera. En parte por esto, Peirce se resistió a la reformulación del pragmatismo por parte de James. El mismo desacuerdo tiene lugar en el tiempo actual. Hilary Putnam es el peirceano del presente. Richard Rorty, en su libro *Philosophy and the Mirror of Nature* (1979)[1] actúa algunos de los papeles representados por James y Dewey. Explícitamente dice que la historia reciente de la filosofía estadounidense ha puesto el énfasis en el lugar equivocado. Cuando se elogia a Peirce es por cosas pequeñas. (Mi sección anterior sobre la visión de Peirce está obviamente en desacuerdo.) Dewey y James son los verdaderos maestros; Dewey está al nivel de Heidegger y Wittgenstein, y juntos son los tres grandes del siglo XX. Sin embargo, Rorty no escribe sólo para admirar. No tiene el interés de Peirce y Putnam en lo que sucede a la larga, ni en el desarrollo de los cánones de la racionalidad. No hay una cosa más razonable que otra, a la larga. James estaba en lo cierto. La razón es algo que está en las conversaciones de nuestro tiempo, y esto es suficiente. Puede ser sublime por lo que inspira en nosotros y entre nosotros. No hay nada que haga una conversación intrínsicamente más racional que otra.

[1] Versión en castellano: *La filosofía y el espejo de la naturaleza*, trad. Jesús Fernández Zulaica, Cátedra, Madrid, 1989.

La racionalidad es algo extrínseco: es cualquier cosa en la que estemos de acuerdo. Si hay menos persistencia entre teorías literarias de moda que entre teorías químicas de moda, esto es asunto para la sociología. No es un signo de que la química tenga un mejor método, ni de que esté más cerca de la verdad.

Así, el pragmatismo se ramifica: por un lado Peirce y Putnam, por el otro James, Dewey y Rorty. Ambas ramificaciones son antirrealistas, pero de manera diferente. Peirce y Putnam esperan con optimismo algo en lo que tarde o temprano convergerán la información y el razonamiento. Esto, para ellos, es lo real y verdadero. Para Peirce y Putnam *es* interesante definir lo real y saber que, dentro de nuestro esquema de las cosas, va a tornarse real. Esto no tiene mucho interés para el otro tipo de pragmatismo. Vivir y hablar es lo que cuenta en esta concepción. No es sólo que no haya realidad externa, tampoco hay cánones externos ni cánones de la racionalidad en desarrollo. La versión del pragmatismo de Rorty es aún una filosofía basada en el lenguaje, que considera nuestra vida un tema de conversación. Dewey estaba en lo correcto al despreciar la teoría del conocimiento del espectador. ¿Qué hubiera pensado de la ciencia como conversación? En mi opinión, el tema correcto en Dewey es el intento por destruir la concepción del conocimiento y la realidad como una cuestión de pensamiento y representación. Debería haber dirigido a los filósofos hacia la ciencia experimental, pero en lugar de eso sus seguidores alaban la conversación.

Dewey distinguía su filosofía de la de otros filósofos pragmatistas anteriores llamándola *instrumentalismo*. Esto indicaba en parte la manera en la que, en su opinión, las cosas que hacemos (incluidas todas las herramientas, e incluido el lenguaje como herramienta) son instrumentos que intervienen cuando convertimos nuestras experiencias en pensamientos y en hechos que sirven a nuestros propósitos. Pero pronto "el instrumentalismo" llegó a denotar una filosofía de la ciencia. Un instrumentalista, en la manera de hablar de la mayoría de filósofos modernos, es un tipo particular de antirrealista acerca de la ciencia —alguien que sostiene que las teorías son herramientas o mecanismos de cálculo para la organización de descripciones de fenómenos, y para hacer inferencias del pasado al futuro. Las teorías y las leyes no son intrínsecamente verdaderas. Son sólo instrumentos que no deben entenderse como aserciones literales. Los términos que aparentemente denotan entidades invisibles no funcionan como términos referenciales. Así pues, el instrumentalismo debe contrastarse con la idea de van Fraassen según la cual las expresiones teóricas deben tomarse literalmente, pero no creerse, sino meramente "aceptarse" y usarse.

¿EN QUÉ DIFIEREN EL POSITIVISMO Y EL PRAGMATISMO?

Las diferencias provienen de las raíces. El pragmatismo es una doctrina hegeliana que pone toda su fe en el proceso del conocimiento. El positivismo surge de la concepción de que ver es creer. El pragmatista no quiere reñir con el sentido común: seguramente las sillas y los electrones son igualmente reales si efectivamente nunca más llegamos a dudar de su valor para nosotros. El positivista dice que no podemos creer en los electrones, porque nunca podemos verlos. Y así sigue toda la letanía positivista. Mientras que el positivista niega la causalidad y la explicación, el pragmatista, por lo menos en la tradición peirciana, las acepta con mucho gusto siempre y cuando sean útiles y duraderas para futuros investigadores.

5

LA INCONMENSURABILIDAD

¿Cómo es que un tema tan gastado como el del realismo científico se ha vuelto tan prominente en la filosofía de la ciencia? El realismo libró una gran batalla cuando las visiones del mundo copernicanas y tolemaicas estaban en la balanza hacía ya bastante tiempo. Al final del siglo XIX las preocupaciones acerca del atomismo contribuyeron al antirrealismo entre los filósofos de la ciencia. ¿Hay un tema de discusión comparable en la ciencia actualmente? Tal vez. Una manera de entender la mecánica cuántica es tomar una posición idealista. Algunas personas sostienen que la observación humana representa una función integral en la manera como se concibe la naturaleza misma de un sistema físico; piensan que un sistema cambia simplemente por el hecho de ser medido. Discusiones acerca del "problema de la medición en la mecánica cuántica", la "interpretación por ignorancia" y el "colapso de la función de onda" dejan claro que las contribuciones de la mecánica cuántica a la filosofía desempeñan un papel importante en los escritos de las figuras más originales en el debate sobre el realismo. Gran parte de las ideas de Hilary Putnam, Bas van Fraassen o Nancy Cartwright parecen ser el resultado de considerar la mecánica cuántica el modelo de toda la ciencia.

A la inversa, muchos físicos se vuelven filosóficos. Bernard d'Espagnat ha hecho una de las más importantes contribuciones recientes al nuevo realismo. Él está motivado, en parte, por la disolución, en algunas áreas de la física moderna, de las viejas concepciones realistas sobre la materia y las entidades. Está motivado en gran medida por algunos resultados recientes que se conocen con el nombre genérico de desigualdad de Bell, y que se ha pensado que ponen en duda conceptos tan diversos como la lógica, el orden temporal de la causalidad y la acción a distancia. Al final defiende un realismo diferente de cualquiera de los que se tratan en este libro.

Hay, entonces, problemas con la ciencia que estimulan las ideas actuales acerca del realismo. Pero los problemas de una ciencia particular nunca pueden explicarnos totalmente una discusión filosófica. Observemos que el debate entre Tolomeo y Copérnico, que llegó a su clímax con la condena

de Galileo, tenía sus raíces en la religión. Comprometía nuestra concepción de la posición de la humanidad en el universo: ¿estamos en su centro o en la periferia? El antirrealismo y el antiatomismo eran parte del positivismo prevaleciente a fines del siglo XIX. De manera similar, en nuestro tiempo, el trabajo histórico-filosófico de Kuhn ha sido un elemento importante en la renovación del debate en torno al realismo. No es que él solo haya llevado a cabo una transformación en la historia y la filosofía de la ciencia. Cuando su libro *La estructura de las revoluciones científicas* se publicó en 1962, temas similares habían sido expresados por otros autores. Además, una nueva disciplina, la historia de la ciencia, estaba en proceso de formación. En los años cincuenta era más que nada un tema para aficionados brillantes. En 1980 era ya una industria. El joven Kuhn, entrenado como físico, fue atraído a la historia precisamente en el momento en el que otras personas dirigían su atención en la misma dirección. Como ya se afirmó en la introducción de este libro, la transformación fundamental de la perspectiva filosófica fue la transformación de la ciencia en un fenómeno histórico.

Esta revolución tuvo sobre los filósofos dos efectos interconectados. Hubo una crisis de la racionalidad que ya he descrito. Hubo también una gran preocupación por el realismo científico. Con cada cambio de paradigma, nos sugiere Kuhn, pasamos a ver el mundo de manera diferente: tal vez vivimos en un mundo diferente. Tampoco estamos convergiendo en una descripción verdadera del mundo, pues no hay ninguna. No hay progreso hacia la verdad, sino sólo un aumento de la tecnología, y tal vez haya progreso en el sentido de "alejarnos" de ideas que nunca volverán a tentarnos. ¿Hay un mundo real después de todo?

En esta familia de ideas una palabra muy llamativa ha estado en boga: *inconmensurabilidad*. Se ha dicho que las teorías sucesivas y rivales dentro del mismo dominio "hablan lenguajes diferentes". No pueden estrictamente ser comparadas ni traducidas una a la otra. Los lenguajes de teorías diferentes son las contrapartes lingüísticas de los mundos diferentes que habitamos. Podemos pasar de un mundo de un lenguaje al otro por medio de un cambio gestáltico, pero no por medio de un proceso del entendimiento.

El realista acerca de las teorías no puede darle la bienvenida a esta idea en la que el objetivo del descubrimiento de la verdad acerca del mundo se dispersa. Tampoco el realista acerca de las entidades se siente satisfecho, puesto que todas las entidades parecen depender totalmente de teorías. Puede haber electrones en nuestra teoría presente, pero no tiene sentido afirmar que simplemente hay electrones, independientemente de lo que pensemos. Hay muchas teorías acerca de electrones propuestas por distinguidos científicos: R.A. Millikan, H.A. Lorenz y Niels Bohr tenían ideas muy diferentes.

El creyente en la inconmensurabilidad dice que ellos querían decir en cada caso algo diferente con la palabra "electrón". Estaban hablando de cosas diferentes, dice el creyente en la inconmensurabilidad, mientras que el realista acerca de las entidades piensa que hablan acerca de electrones. Así, pues, si bien la inconmensurabilidad es un tema importante para el debate sobre la racionalidad, se opone también al realismo científico. Un poco de cuidado, sin embargo, nos permite ver que no es tan terrible como frecuentemente se supone.

TIPOS DE INCONMENSURABILIDAD

El nuevo uso filosófico de la palabra "inconmensurable" es el producto de conversaciones entre Paul Feyerabend y Thomas Kuhn en la Avenida del Telégrafo de Berkeley, hacia 1960. ¿Cuál era su significado antes de que estos hombres lo reformularan? En la matemática griega tiene un significado preciso. Significa "sin medida común". Dos medidas de longitud tienen medida común si es posible poner m de la primera longitud junto a exactamente n de la segunda longitud, y por lo tanto medir una mediante la otra. No todas las longitudes son conmensurables. La diagonal en un cuadrado no tiene una medida común con la longitud de los otros lados, o como expresamos ahora este hecho, $\sqrt{2}$ no es una fracción racional m/n.

Los filósofos no tienen nada tan preciso en la mente cuando usan la metáfora de la inconmensurabilidad. Piensan en comparar teorías científicas, pero por supuesto no puede haber una medida *exacta* para este propósito. Después de veinte años de acalorado debate, la palabra "inconmensurabilidad" parece apuntar a tres ideas distintas. Las llamaré *inconmensurabilidad de temas, disociación* e *inconmensurabilidad de significado*. Las primeras dos pueden explicarse fácilmente, pero la tercera no.

ACUMULACIÓN Y SUBSUNCIÓN

El libro de Ernest Nagel, *The Structure of Science* (1961),[1] fue una formulación clásica de gran parte de la filosofía de la ciencia que se había escrito en inglés recientemente. (Los títulos pueden decir mucho. El libro que tuvo mayor éxito en 1962 fue *La estructura de las revoluciones científicas*.) Nagel nos habla de estructuras estables y de continuidad. Él dio por sentado

[1] Versión en castellano: *La estructura de la ciencia*, trad. Néstor Míguez, Paidós, Buenos Aires, 1968.

que el conocimiento tiende a acumularse. De cuando en cuando una teoría T se reemplaza por una sucesora T^*. ¿Cuándo es racional el cambio de teorías? La idea de Nagel es que la nueva teoría T^* debe poder explicar los fenómenos que T explica, y debería también generar todas las predicciones verdaderas que genera T. Además, debería excluir algunas partes de T que son erróneas, o abarcar una amplia variedad de fenómenos y predicciones. Idealmente, T^* realiza ambas tareas. En este caso T^* *subsume* a T.

Cuando T^* subsume a T hay, a grandes rasgos, una medida común para comparar las dos teorías; en todo caso, la parte correcta de T está incluida en T^*. Así que podríamos decir, metafóricamente, que T y T^* son conmensurables. Esta conmensurabilidad proporciona una base para la comparación racional de teorías.

INCONMENSURABILIDAD DE TEMAS

Feyerabend y Kuhn dejaron ver claramente que Nagel no agotó las posibilidades del cambio de teorías. Una teoría sucesora puede confrontar diferentes problemas, usar nuevos conceptos y tener aplicaciones diferentes de las de la teoría vieja. Puede simplemente olvidar muchos de los éxitos anteriores. Las maneras en las que reconoce, clasifica y, sobre todo, produce fenómenos pueden no encajar con la explicación más vieja. Por ejemplo, la teoría del oxígeno de quemar y blanquear, al principio no se aplicaba a todos los fenómenos que se acomodaban con el flogisto. Como hecho histórico, no era cierto que la nueva teoría subsumiera la vieja.

En opinión de Nagel, T^* debería abarcar los mismos temas que T, y abarcarlos por lo menos tan bien como T; debería también abarcar algunos temas nuevos. El hecho de que abarquen los mismos temas contribuye a la conmensurabilidad entre T y T^*. Kuhn y Feyerabend dicen que a menudo hay un cambio radical de temas. No podemos decir que la sucesora T^* hace el mismo trabajo mejor que T, porque hacen trabajos diferentes.

La concepción de la ciencia normal de Kuhn, crisis, revolución, ciencia normal, hace bastante verosímil esta inconmensurabilidad de temas. Ocurre una crisis en T cuando una familia de contraejemplos atrae generalizadamente la atención, pero se rehúsa a dar lugar a una revisión de T. Una revolución redescribe los contraejemplos y genera una teoría que explica los fenómenos problemáticos previos. La revolución triunfa si los nuevos conceptos resuelven viejos problemas y si genera nuevos enfoques y temas de investigación. La ciencia normal resultante puede ignorar muchos triunfos de la ciencia normal precedente. Por lo tanto, aunque puede haber

algún traslape entre T y T^*, tal vez no haya nada parecido a la subsunción de la que habla Nagel. Es más, aun cuando haya un traslapo, las maneras como T^* describe algunos fenómenos pueden ser tan diferentes de la descripción ofrecida por T que podemos sentir que los fenómenos ni siquiera se entienden de la misma manera.

En 1960, cuando la mayoría de los filósofos anglosajones habrían estado de acuerdo con Nagel, Kuhn y Feyerabend fueron una sacudida. Sin embargo, ahora la inconmensurabilidad de temas por sí sola parece bastante sencilla. Es una cuestión histórica si la teoría del oxígeno en su mayor parte se transformó en una serie de temas diferentes de los estudiados por el flogisto. Sin lugar a dudas habría una gran variedad de ejemplos históricos, que principian en un extremo con la subsunción pura a la manera de Nagel, y terminan en el extremo opuesto donde quisiéramos decir que la teoría sucesora reemplaza totalmente los temas, conceptos y problemas de T. En este extremo, estudiantes de una generación posterior educados en T^* pueden encontrar T simplemente ininteligible hasta que tomen el papel de historiadores e intérpretes, y reaprendan T desde el principio.

DISOCIACIÓN

Un tiempo suficientemente largo, y cambios suficientemente radicales en la teoría, pueden hacer el trabajo anterior ininteligible para un público científico posterior. Aquí es importante hacer una distinción. Una teoría antigua puede olvidarse pero aún ser inteligible para el lector moderno que esté dispuesto a dedicar tiempo a reaprenderla. Por otra parte, algunas teorías indican un cambio tan radical que se requiere algo más que simplemente aprender la teoría. Dos ejemplos bastarán para hacer el contraste.

La *Mecánica celeste* en cinco volúmenes que Laplace escribió alrededor de 1800 es un gran libro de física newtoniana. El estudiante moderno de matemáticas aplicadas puede entenderlo bien. Esto es cierto incluso cuando Laplace, hacia el final del libro, habla acerca del calórico. El calórico es una sustancia, la sustancia del calor, y supuestamente consiste en partículas pequeñas con una fuerza repulsiva que decae muy rápidamente con la distancia. Laplace está orgulloso de resolver algunos problemas importantes con su modelo del calórico. Logra hacer la primera derivación de la velocidad del sonido en el aire. Laplace obtiene un resultado muy cercano a la velocidad observada, mientras que las derivaciones de Newton daban una respuesta bastante alejada del resultado correcto. Ya no creemos que exista una sustancia tal como el calórico, y hemos reemplazado por com-

pleto la teoría del calor de Laplace. Pero podemos remediarlo y entender qué es lo que Laplace estaba haciendo.

En constraste, examínense algunos de los volúmenes de Paracelso, quien murió en 1541. Él es ejemplo de una tradición renacentista del norte de Europa, tradición con una serie de intereses herméticos: medicina, fisiología, alquimia, herbolaria, astrología, adivinación. Como muchos otros "doctores" de su tiempo, practicó todas estas disciplinas como parte de un mismo arte. El historiador puede encontrar en Paracelso anticipaciones de la medicina y la química posteriores. El herbolario puede encontrar en sus comentarios tradiciones olvidadas. Pero si tratamos de leerlo, encontraremos a alguien totalmente diferente de nosotros.

No es que no podamos entender sus palabras, una por una. Escribió en latín vulgar y en protoalemán, pero esto no es un problema serio. Ahora se lo traduce al alemán moderno y algunos de sus trabajos pueden encontrarse en inglés. Pasajes como el siguiente evocan el tono: "La naturaleza trabaja a través de otras cosas, tales como imágenes, piedras, hierbas, palabras, o cuando hace cometas, similitudes, halos y otros productos no naturales de los cielos." Es el orden del pensamiento lo que no podemos comprender en este pasaje, ya que está basado en un sistema de categorías difícilmente inteligible para nosotros.

Aun cuando parecemos entender perfectamente bien las palabras, nos quedamos confundidos. Escritor claramente renacentista, de gran seriedad e inteligencia, Paracelso formula enunciados extraordinarios acerca de los orígenes de los patos, gansos o cisnes. Los maderos podridos que flotan en la bahía de Nápoles generan los gansos. Los patos son generados por percebes. La gente en aquel entonces sabía todo lo que había que saber acerca de los patos y los gansos: los tenía en sus patios. Las clases dominantes prácticamente criaban a los cisnes. ¿Cuál es el peso de esas proposiciones absurdas acerca de percebes y maderos? No nos faltan oraciones para expresar estos pensamientos. Las palabras las tenemos, por ejemplo, ésta que se encuentra tanto en el *Dictionary* de Johnson (1755) como en el *Oxford English Dictionary*: "Anserífero [*anatiferous*] —que produce patos o gansos, esto es, percebes, que antes se suponía que crecían en los árboles y que caían al agua para convertirse en gansos-árboles." La definición es bastante simple. ¿Pero cuál es el sentido de esa idea?

Paracelso no es un libro cerrado. Uno puede aprender a leerlo. Uno puede incluso imitarlo. Hubo en su tiempo muchos imitadores a quienes ahora llamamos pseudo Paracelso. Uno podría penetrar tanto en su manera de pensar como para fraguar otro volumen de pseudo Paracelso. Pero para hacer esto se tendría que recrear un sistema de pensamiento que nos es extraño

y que apenas rememoramos, por ejemplo, en la medicina homeopática. El problema no es que nosotros pensemos simplemente que Paracelso escribió falsamente, sino que no podemos atribuir verdad o falsedad a muchas de sus oraciones. Su estilo de razonamiento es extraño. La sífilis se trata con un emplasto de mercurio y con administración interna de este metal, porque el metal mercurio es el signo del planeta, Mercurio, y éste es a su vez un signo del mercado, y la sífilis se contrae en el mercado. Entender esto es un ejercicio muy diferente que el de aprender la teoría del calórico de Laplace.

El discurso de Paracelso es incomensurable con el nuestro, porque no hay manera de contrastar lo que él quiso decir con nada que nosotros queramos decir. Lo podemos expresar en español, pero no podemos afirmar o negar lo que se dice. En el mejor de los casos, uno puede empezar a hablar a la manera de Paracelso si se enajena o se disocia del pensamiento de nuestro tiempo. Por lo tanto, diré que el contraste entre nosotros y Paracelso es la *disociación*.

No forzamos la metáfora si decimos que Paracelso vivió en un mundo diferente del nuestro. Hay dos fuertes correlatos lingüísticos de la disociación. Uno es que numerosos enunciados paracelsianos no están entre nuestros candidatos a verdad-o-falsedad. El otro es que estilos olvidados de razonamiento son fundamentales para su pensamiento. En otra parte sostengo que estos dos aspectos están íntimamente conectados. Una proposición interesante es por lo general verdadera-o-falsa si hay un estilo de razonamiento que nos ayude a establecer su valor de verdad.[2] Quine y otros autores escriben sobre los esquemas conceptuales, con lo que se refieren a un conjunto de oraciones que se consideran verdaderas. Creo que esto es una caracterización equivocada. Un esquema conceptual es una red de posibilidades cuya formulación lingüística es una clase de oraciones susceptibles del título de verdaderas o falsas. Paracelso vio el mundo como una red diferente de posibilidades, encajadas en estilos de razonamiento diferentes de los nuestros, y a esto se debe que estemos disociados de él.

A pesar de que Paul Feyerabend ha hablado sobre la inconmensurabilidad en muchos dominios de la ciencia, sus pensamientos maduros en *Contra el método* son, en su mayor parte, acerca de lo que llamo disociación. Su ejemplo típico es el del cambio de la Grecia arcaica a la Grecia clásica. Basándose sobre todo en la poesía épica y las pinturas en ánforas, sostiene que los griegos homéricos literalmente veían las cosas de manera distinta

[2] Véase I. Hacking, "Language, Truth and Reason", en M. Hollis y S. Lukes (comps.), *Rationality and Relativism*, Oxford, 1982, pp. 48–66.

que los atenienses. Sea esto correcto o no, es una tesis mucho menos sorprendente que la que dice, por ejemplo, que cada cohorte de físicos se ha estado refiriendo a cosas diferentes cuando habla de electrones.

Hay muchos ejemplos intermedios entre los extremos de Laplace y Paracelso. El historiador muy pronto se da cuenta de que los textos antiguos constantemente nos ocultan en qué medida están disociados de nuestras maneras de pensar. Kuhn nos dice, por ejemplo, que la física de Aristóteles descansa sobre ideas del movimiento que están disociadas de las nuestras, y que uno puede entenderlo sólo a través del reconocimiento de la red de sus palabras. Kuhn es uno de los muchos historiadores que enseñan la necesidad de repensar los trabajos de nuestros predecesores a su manera, no a la nuestra.

INCONMENSURABILIDAD DE SIGNIFICADO

El tercer tipo de inconmensurabilidad no es histórica, sino filosófica. Principia cuando nos preguntamos acerca del significado de los términos que representan entidades teóricas no observables.

¿Cómo obtienen su significado los nombres de entidades o procesos teóricos? Podemos tener la idea de que un niño llega a comprender el uso de palabras tales como "mano", "enfermo", "triste" y "horrible" mostrándole cosas a las que estas palabras se aplican (incluyendo sus propias manos, su propia tristeza). Independientemente de cuál sea nuestra teoría de la adquisición del lenguaje, la presencia o ausencia manifiesta de manos y tristeza debe ser una ayuda para caer en la cuenta de lo que las palabras significan. Pero los términos teóricos se refieren —casi por definición— a lo que no puede observarse. ¿Cómo obtienen entonces su significado?

Podemos dar algunos significados por medio de definiciónes. Pero en el caso de teorías profundas, cualquier definición supondría otros términos teóricos. Es más, muy pocas veces utilizamos definiciones para empezar a entender algo. Explicamos términos teóricos cuando usamos la teoría al hablar. Desde hace tiempo esto ha sugerido que el sentido de los términos está dado por una sucesión de palabras de la misma teoría. El significado de términos individuales en la teoría está dado por la posición dentro de la estructura de la teoría íntegra.

Bajo esta concepción del significado parecería que "masa" en la teoría newtoniana no significaría lo mismo que "masa" en la mecánica relativista. "Planeta" en la teoría copernicana no significaría lo mismo que "planeta" en la teoría de Tolomeo, y, de hecho, el Sol es un planeta para Tolomeo pero no

para Copérnico. Tales conclusiones no son necesariamente problemáticas. ¿No significaba el Sol mismo algo diferente cuando Copérnico lo puso en el centro de nuestro sistema planetario? ¿Por qué tendría que importar si decimos que "planeta" o "masa" adquirieron significados nuevos conforme la gente pensó más acerca de los planetas y la masa? ¿Por qué tenemos que quejarnos del cambio de significado? Porque parece cobrar importancia cuando empezamos a comparar teorías.

Sea *s* una oración acerca de la masa, afirmada por la mecánica relativista y negada por la mecánica newtoniana. Si la palabra "masa" obtiene su significado a partir de su lugar en la teoría, significará algo distinto si se usa en la mecánica newtoniana o en la relativista. Así, la oración *o*, sostenida por Einstein, debe diferir en significado de la oración *o* negada por Newton. En efecto, sea *n* otra oración que utiliza la palabra "masa", pero que, a diferencia de *o*, la afirman tanto Newton como Einstein. No podemos decir que la oración *n*, que figura en la teoría newtoniana, está subsumida en la teoría relativista, pues "masa" no significará lo mismo en ambos contextos. No hay una proposición, el significado compartido de *n*, que sea común tanto a Newton como a Einstein.

Esto es inconmensurabilidad en su máxima expresión. No hay una medida común para cualesquiera dos teorías que empleen terminología teórica porque, en principio, nunca pueden discutir los mismos temas. No puede haber proposiciones teóricas que una teoría comparta con su sucesora. La doctrina de la subsunción de Nagel se vuelve entonces lógicamente imposible, ya que lo que *T* dice no puede ni siquiera afirmarse (o negarse) en la teoría sucesora T^*. Tales son las notables afirmaciones de la inconmensurabilidad de significado. Uno puede incluso comenzar a preguntarse si los experimentos cruciales son lógicamente posibles. Si un experimento ha de decidir entre teorías, ¿no tendría que haber una oración que afirmara lo que una teoría predice y lo que la otra niega? ¿Acaso puede haber una oración semejante?

La doctrina de la inconmensurabilidad por significado se enfrentó a gritos de indignación. Se decía que toda la idea era incoherente. Por ejemplo: nadie negaría que la astronomía y la genética son inconmensurables —tratan acerca de dominios diferentes. Pero la inconmensurabilidad de significado dice que las teorías rivales o sucesivas son inconmensurables. ¿Cómo podríamos siquiera llamarlas teorías rivales o sucesivas si no reconociéramos que hablan de los mismos tópicos, y por lo tanto hacer una comparación entre ellas? Hay otras respuestas a la inconmensurabilidad de significado igualmente superficiales. Hay también otras profundas, la mejor de las cuales es la de Donald Davidson. Davidson da a entender que

la inconmensurabilidad no tiene sentido porque descansa en la idea de esquemas conceptuales diferentes e incomparables. Pero la idea misma de esquema conceptual, insiste él, es incoherente.[3]

De una manera más directa, se ha argumentado cuidadosamente, como hace por ejemplo Dudley Shapere, que hay suficiente identidad de significado entre teorías sucesivas como para permitir la comparación de teorías.[4] Shapere está entre aquellos, entre quienes se encuentra ahora Feyerabend, que suponen que tales cuestiones pueden examinarse mejor sin traer en absoluto a colación la idea de significado. Estoy de acuerdo. Pero en el fondo de la inconmensurabilidad de significado hay una pregunta acerca de cómo obtienen su significado los términos que denotan entidades teóricas. La pregunta presupone una concepción aproximada del significado. Dado que la pregunta ha sido planteada y ha generado tal tempestad, estamos obligados a producir una mejor concepción aproximada del significado. Hilary Putnam ha cumplido con esta obligación, y ahora pasaremos a examinar su teoría de la referencia para eludir totalmente la inconmensurabilidad de significado.

[3] D. Davidson, "On the Very Idea of a Conceptual Scheme", *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association*, no. 57, 1974, pp. 5–20.

[4] D. Shapere, "Meaning and Scientific Change", en R. Colodny (comp.), *Mind and Cosmos: Essays in Contemporary Science and Philosophy*, Pittsburgh, 1966, pp. 41–85.

6

LA REFERENCIA

Si los filósofos de la ciencia no se hubieran inquietado con el significado, no tendríamos una doctrina de la inconmensurabilidad de significado. Tal y como están las cosas, necesitamos una teoría alternativa del significado que permita a la gente que sostiene teorías sucesivas o rivales hablar acerca de la misma cosa. La alternativa más viable es la de Hilary Putnam.[1] Él la consideraba parte de su anterior concepción realista de la ciencia. Desde entonces Putnam se ha vuelto cada vez más antirrealista, pero esto es una historia que reservo para el próximo capítulo. Por lo pronto consideremos su significado de "significado".

SENTIDO Y REFERENCIA

La palabra "significado" tiene muchos usos, muchos de los cuales son más evocativos que precisos. Aun si nos restringimos al significado común de las palabras, en oposición al de los poemas, hay por lo menos dos diferentes tipos de significado. La distinción se establece en un famoso ensayo de Gottlob Frege, "Sobre el sentido y la referencia".

Consideremos dos tipos diferentes de respuesta a la pregunta ¿qué quiere usted decir? o ¿qué significa eso? Supongamos que le acabo de decir que el gliptodonte que Richard Owen trajo de Buenos Aires ha sido restaurado. La mayoría de la gente no conoce el significado de "gliptodonte" y preguntará ¿qué quiere usted decir? o ¿qué significa eso?

Si estamos en un museo puedo simplemente señalar hacia un largo esqueleto de forma ridícula. *Esto* es lo que quiero decir, *esto* es el significado

[1] Todas las citas de Hilary Putnam son de "The Meaning of 'Meaning' ". [Versión en castellano: "El significado de 'significado' ", trad. Jorge G. Flematti, Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM, México, 1984 (Colección Cuadernos de Crítica, no. 28)] y de otros ensayos reimpresos en el volumen 2 de su libro *Philosophical Papers. Mind, Language and Reality*, Cambridge, 1979.

de lo que decía. En la terminología de Frege, el esqueleto es la referencia de mis palabras "el gliptodonte traído por Richard Owen de Buenos Aires".

Por otra parte, puesto que muy posiblemente usted no tiene ningún indicio acerca del significado de la palabra "gliptodonte", le puedo decir que el gliptodonte es un enorme reptil extinto de Sudamérica, semejante al armadillo, pero con dientes aflautados. Con esta definición indico lo que Frege hubiera llamado el *sentido* de la palabra "gliptodonte".

Es natural que se piense que una frase tiene un sentido, a saber, lo que entendemos con ella, que nos permite extraer la referencia, si hay alguna. Si oigo la definición de "gliptodonte" puedo ir a un museo y tratar de encontrar los esqueletos, en caso de que hubiera alguno, sin ver las etiquetas bajo los especímenes. Frege pensaba que una palabra tiene un sentido estándar, que es lo que hace posible una tradición científica. El sentido es lo que comparten todos los comunicadores, y puede transmitirse de una generación de estudiantes a otra.

EL SENTIDO Y LA INCONMENSURABILIDAD DE SIGNIFICADO

Frege habría menospreciado la inconmensurabilidad de significado, pero su manera de ver las cosas ayudó a llevarnos a esa trampa. Nos enseñó que la expresión debería tener un sentido definido y preciso, el cual aprehendemos, y el cual nos permite extraer la referencia. Agreguemos a eso la idea no fregeana de que podemos captar el sentido de los términos teóricos sólo considerando su lugar en una red de proposiciones teóricas. Parece seguirse que el sentido de determinado término debe cambiar conforme la teoría sufre cambios.

Podemos evitar esta conclusión de varias maneras. Una es evitando descomponer el significado en dos componentes, sentido y referencia, atribuyendo todo el trabajo a sentidos abstractos objetivos. Después de todo, la idea de significado no viene en dos escrupulosos paquetes que la naturaleza ha clasificado como sentido y referencia. La clasificación y la envoltura es el trabajo de lógicos y lingüistas. J.S. Mill lo hizo de una manera ligeramente distinta (connotación y denotación). Algo similar hicieron los gramáticos escolásticos (intensión y extensión). Los escritores franceses seguidores de Ferdinand de Saussure tenían una manera diferente de hacer la separación (significado y significante). Podemos aflojar los cordeles fregeanos y amarrar los paquetes de manera diferente. Sin lugar a dudas hay muchos modos de hacerlo. La manera como Hilary Putnam lo hace es especialmente útil

porque, a diferencia de todos los otros escritores, no tiene sólo un par de componentes de "significado".

EL SIGNIFICADO DE "SIGNIFICADO" DE PUTNAM

Los diccionarios son fuentes de información. No exponen sólo sentidos abstractos fregeanos que omiten los hechos no lingüísticos acerca del mundo. Abra uno al azar, y se enterará de que, por ejemplo, la moneda de oro francesa, el Luis de oro, fue hecha en 1640, y que se siguió haciendo hasta la Revolución. Se enterará de que el arte religioso de Egipto y de la India incluyen representaciones rituales de un nenúfar llamado loto, y que la fruta de ese mítico árbol de loto supuestamente produce un contentamiento de ensueño. Un diccionario empieza una entrada con alguna nota sobre pronunciación y gramática, después de pasar por la etimología procede a dar un montón de información, y puede concluir con ejemplos de uso. Mi diccionario compacto termina la entrada "eso" con el ejemplo "eso parece".

Putnam construye su teoría del significado a partir de una serie análoga de componentes. Podemos pensar que inició un movimiento de vuelta al diccionario. Usaré dos palabras como ejemplos. Una es su propia elección, "agua", y la otra es nuestra palabra "gliptodonte".

Para Putnam, el primer componente del significado es gramatical. Lo llama un *marcador sintáctico*. "Gliptodonte" es un sustantivo contable, y "agua" es un sustantivo masa. Esto tiene que ver, por ejemplo, con la formación de los plurales. Decimos que hay algo de agua en el foso, pero decimos, o bien que hay un gliptodonte en el foso, o bien que hay varios gliptodontes en el foso. Las palabras tienen diferente gramática. Putnam incluiría también entre los marcadores sintácticos las indicaciones de que ambas palabras son nombres concretos (en oposición a nombres abstractos).

El segundo componente de Putnam es un *marcador semántico*. En nuestros casos esto mostrará la categoría de objetos a los que se aplican las palabras. Ambos, "agua" y "gliptodonte", son nombres de cosas que se encuentran en la naturaleza, por lo que Putnam introduce "término de clase natural" entre los marcadores semánticos. Bajo "agua" él añade "líquido". Bajo "gliptodonte" él pondría "reptil".

ESTEREOTIPOS

La contribución más original de Putnam es el tercer componente, el *estereotipo*. El estereotipo es una idea convencional asociada a una palabra que puede ser inexacta. Para utilizar su ejemplo, una persona que entiende la palabra "tigre" en nuestra comunidad debe saber que pensamos que los tigres son rayados. Las ilustraciones de los libros infantiles hacen hincapié en que los tigres tienen rayas; eso es importante para mostrar que son ilustraciones de *tigres*. Aun cuando uno pensara que ser rayado es algún tipo de accidente, y que los tigres se adaptarán pronto a la destrucción de sus bosques cambiando a un color bronceado uniforme, aun así, es verdad que los tigres que conocemos son rayados. Esto es algo que debemos saber para poder comunicarnos detalladamente acerca de los tigres. Pero no es una autocontradicción hablar de un tigre que perdió sus rayas. Se ha registrado un tigre completamente blanco. De la misma manera, parte del estereotipo de los perros es que son cuadrúpedos, aun cuando mi perro Bear tiene sólo tres patas.

Como parte del estereotipo de "agua", Putnam menciona incolora, transparente, insabora, calmante de la sed, etc. Bajo "gliptodonte" podemos incluir extinto, enorme, sudamericano, semejante al armadillo, con dientes aflautados.

Observemos que algunos de estos elementos pueden estar equivocados. La palabra "gliptodonte" proviene de las palabras griegas para flauta + diente. Fue inventada por el paleontólogo que descubrió los restos de un gliptodonte en 1839, Richard Owen. Pero tal vez los dientes aflautados epónimos sean una característica de sólo algunos gliptodontes. Cada uno de los elementos del estereotipo podría estar equivocado. Tal vez encontraremos gliptodontes pequeños. Hubo gliptodontes también en Norteamérica. Quizá la especie no esté extinta, sino que sobrevive en el Amazonas o en los Andes. Tal vez Owen estaba equivocado con respecto a su origen evolutivo, y el animal no es semejante al armadillo.

También podemos agregarle cosas al estereotipo. Los gliptodontes vivieron en el pleistoceno. Tenían colas con púas y con bolas al final que podían utilizar como mazos. Comían cualquier cosa en la que pudieran meter sus dientes aflautados. He notado que los libros de referencia escritos hace 70 años hacen hincapié en características del gliptodonte muy diferentes de los que encuentro ahora.

LA DIVISIÓN DEL TRABAJO LINGÜÍSTICO

Los elementos de los estereotipos de Putnam no son criterios permanentes para el uso de la palabra en cuestión. Una persona puede conocer el significado de la palabra, y saber cómo se usa en muchas situaciones, sin saber cuál es el mejor criterio presente para la aplicación de la palabra. Yo puedo saber cuándo estoy viendo un esqueleto de gliptodonte, pero puede ser que no conozca el criterio corriente entre los paleontólogos. Putnam habla de la división del trabajo lingüístico. Nos apoyamos en expertos para saber cuáles son los mejores criterios y cómo se aplican. Este tipo de habilidad no es cuestión de conocer el significado, sino de conocer el mundo.

Putnam sugiere una especie de jerarquía de nuestro entendimiento. Es similar a la que Leibniz presentó hace ya mucho tiempo, en sus *Meditaciones concernientes a la verdad y a las ideas* (1684).

En el peor de los casos, una persona puede simplemente no saber lo que significa una palabra. Así, en uno de sus trabajos Putnam afirma que la palabra "brezo" es sinónimo de "tojo". Se trata de una pequeña equivocación inocente que ilustra de manera encantadora las distinciones del propio Putnam. Tanto el tojo como el brezo son plantas características de Escocia, por ejemplo, pero el tojo es un arbusto grande, con púas y flores amarillas brillantes. El brezo es más pequeño, suave, con diminutas flores púrpuras acampanadas. Putnam no debe haber conocido, o debía haber olvidado, los estereotipos para estos arbustos. Pero es sin lugar a dudas una equivocación: debería haber dicho que "aulaga" es sinónimo de "tojo". El diccionario *Modern English Usage*, de Fowler, dice que estas palabras en inglés son el par de sinónimos perfectos más raro, utilizadas intercambiablemente en las mismas regiones, por los mismos hablantes, sin ninguna sombra de diferencia en el significado.

Además, uno puede saber lo que una palabra significa sin poder aplicarla correctamente. Putnam, continuando sus cándidas confesiones botánicas, nos dice que no puede diferenciar una haya de un olmo. Así, tiene lo que Leibniz llamaba una idea *oscura* de una haya: en palabras de Leibniz, "cuando mi vaga idea de una flor o un animal que anteriormente he visto no me es suficiente para reconocer un nuevo caso cuando lo encuentro".

Además, uno puede ser capaz de distinguir hayas de olmos, o distinguir el oro de otras sustancias, sin conocer los criterios estándar o cómo aplicarlos. Esto es lo que Leibniz llama tener una idea *clara*. Uno tiene una idea *distinta* cuando conoce los criterios y sabe cómo emplearlos. Putnam y Leibniz usan el mismo ejemplo: un valuador es un experto que conoce los principios para

distinguir el oro, y que puede aplicar las pruebas. Un valuador tiene una idea distinta del oro.

Sólo unos cuantos expertos tienen ideas distintas, esto es, conocen los criterios apropiados para un cierto dominio. Pero en general todos sabemos los significados de palabras comunes como "oro" o "haya", para los que sí existen criterios definidos. Tal vez estas palabras no tendrían su significado corriente si no hubiera expertos de por medio. Putnam conjetura que la división del trabajo lingüístico es una parte importante de cualquier comunidad lingüística. Nótese también que los criterios de los expertos pueden cambiar. Los valuadores no usan hoy en día las mismas técnicas que usaban en tiempos de Leibniz. También es común fallar en el primer intento de definir una especie. Las características estereotípicas son reconocidas, pero no se sabe lo suficiente acerca de las cosas como para reconocer qué es importante. Entonces, ¿qué es constante en el significado? Putnam hace que todo gire alrededor de la referencia y la extensión.

LA REFERENCIA Y LA EXTENSIÓN

La *referencia* de un término de clase natural es la clase natural en cuestión —si efectivamente hay tal clase natural. La referencia de "agua" es cierto tipo de cosa, a saber, H_2O. La *extensión* de un término es el conjunto de cosas de las que el término es verdadero. Así, la extensión del término gliptodonte es el conjunto de todos los gliptodontes pasados, presentes y futuros. ¿Y si "gliptodonte" no es una clase natural? Imaginemos que los paleontólogos cometieron un terrible error y que todos los dientes aflautados eran de un tipo de animal, mientras que los caparazones tipo armadillo eran de otro. Nunca existió un gliptodonte. Entonces "gliptodonte" no es una clase natural y la pregunta sobre su extensión simplemente no surge. Si tiene que surgir, su extensión es el vacío.

La teoría del significado de Putnam difiere de teorías anteriores en que incluye la extensión o la referencia (o ambas) como parte del significado. Éstas, y no el sentido de Frege, son lo que se mantiene constante de generación en generación.

EL SIGNIFICADO DE "SIGNIFICADO"

¿Cuál es el significado de la palabra "gliptodonte"? La respuesta de Putnam es un vector con cuatro componentes: marcadores sintácticos, marcadores

semánticos, estereotipo, extensión. En la práctica, entonces, deberíamos tener:

> *Gliptodonte*: [Sustantivo contable concreto.] [Nombra una clase natural, un reptil.] [Extinto, primariamente sudamericano, semejante al armadillo, tiene un caparazón sólido gigante de más de 1.50 metros de largo sin partes o anillos móviles, vivió durante el pleistoceno, comía cualquier cosa.] [. . . . .].

Aquí no tenemos más que una entrada de diccionario afeada, con la excepción de los corchetes finales que no podemos llenar. No podemos poner todos los gliptodontes en la página del diccionario. Ni podemos poner la clase natural. Los diccionarios pictóricos hacen lo mejor que pueden porque nos ponen una fotografía de un esqueleto real de gliptodonte, o un dibujo de cómo debe haber sido un gliptodonte. Llamemos al último [. . . . .] los *puntos de la extensión*.

LA REFERENCIA Y LA INCONMENSURABILIDAD

Los estereotipos pueden cambiar conforme sabemos más acerca de cierto tipo de cosas o sustancias. Si tenemos un término genuino de clase natural, la referencia del término va a permanecer la misma, aun cuando puedan cambiar las opiniones acerca del estereotipo de la clase. *Por lo tanto, el principio fundamental de la identidad de un término cambia del sentido fregeano a la referencia putnamiana.*

Putnam se ha opuesto siempre a la inconmensurabilidad de significado. La inconmensurabilidad de significado dice, poco convincentemente, que cuando una teoría cambia dejamos de hablar de la misma cosa. Putnam responde realistamente que esto es absurdo. Por supuesto que estamos hablando de la misma cosa, a saber, la extensión estable del término.

Cuando Putnam desarrolló su teoría de la referencia, era todavía un científico realista. La inconmensurabilidad de significado es mala para el realismo científico, así que a Putnam le incumbió desarrollar una teoría del significado que evitara los peligros de la inconmensurabilidad. Éste es un resultado negativo. Hay también un resultado positivo. Por ejemplo, van Fraassen es un antirrealista que, como yo, piensa que la teoría del significado debería ocupar un lugar muy reducido en la filosofía de la ciencia. Aun así, él molesta al realista, quien confía en la existencia de los electrones: "¿Qué electrón observó Millikan: el de Lorentz, el de Rutherford, el de Bohr o el de Schrödinger?" (*La imagen científica*, p. 261). La teoría de la referencia

de Putnam le proporciona al realista la respuesta obvia: Millikan midió la carga del electrón. Lorentz, Rutherford, Bohr, Schrödinger y Millikan hablaban todos ellos acerca de los electrones. Tenían teorías diferentes acerca de los electrones. Diferentes estereotipos de los electrones han estado en boga, pero es el referente lo que fija la identidad de lo que estamos hablando.

Esta respuesta va peligrosamente un paso más allá de lo que hasta aquí se ha dicho. En el caso del agua y los gliptodontes, parece que hay una manera simple de enganchar palabras con el mundo. Podemos al menos apuntar hacia algo de eso que es el agua; podemos apuntar hacia un esqueleto de uno de los miembros de la especie gliptodonte, fotografiarlo o reconstruirlo. No podemos apuntar hacia un electrón. Tenemos que ver cómo funciona la teoría de Putnam con los términos teóricos.

En las próximas secciones describo algunos actos de nombrar, o nombramientos, de la vida real. Uno debe tener un sentido de las cosas raras que pasan en la ciencia, en oposición al rango limitado de sucesos no imaginativos que pueblan la ciencia ficción. Los ensayos de Putnam tienen el defecto de que se favorece la ficción por encima de los hechos. Los hechos revelan algunos defectos del significado de "significado" de Putnam simplificado. Aun así, nos ha permitido superar el seudoproblema de la inconmensurabilidad de significado. No necesitamos ninguna teoría acerca de los nombres para nombrar los electrones. (Secretamente sostengo, sobre fundamentos filosóficos, que en principio no puede haber una teoría general completa del significado o del nombrar.) Sólo necesitamos asegurarnos de que una teoría obviamente falsa no es la única teoría posible. Putnam lo ha hecho.

Debería también advertirle al lector que hay algunas cuestiones opcionales extra que a veces se le añaden a la teoría de Putnam. Las ideas de Putnam se generaron al mismo tiempo que Saul Kripke presentó independientemente una serie notable de conferencias que ahora han sido publicadas con el nombre de *Naming and Necessity*.[2] Kripke sostiene que cuando uno tiene éxito en nombrar la clase natural de una cosa, una cosa de esa clase debe, como parte de su misma esencia, de su misma naturaleza, ser de esa clase. Esto se remonta a una filosofía atribuida a Aristóteles llamada esencialismo. De acuerdo con Kripke, si el agua es de hecho H_2O, entonces el agua es necesariamente H_2O. Como una cuestión de necesidad metafísica, no puede ser ninguna otra cosa. Por supuesto, tomando en cuenta todo lo que sabemos, podría ser alguna otra cosa, pero esto es una cuestión epistémica. Este esencialismo está sólo accidentalmente conectado con el significado

[2] Versión en castellano: *El nombrar y la necesidad*, trad. Margarita Valdés, Instituto de Investigaciones Filosóficas-UNAM, 2a. ed., México, 1996.

de "significado" de Putnam. Sus referencias no tienen que ser "esencias". D.H. Mellor ha dado poderosas razones para resistirse a esta idea, por lo menos en lo que concierne a la filosofía de la ciencia.[3] (Ése es otro ejemplo de la necesidad de los filósofos de la ciencia de ser cautelosos con las teorías del significado.) A pesar del interés intrínseco de las ideas de Kripke para los estudiantes de lógica, *no* deben agregarse a mi versión de las nociones de Putnam.

NOMBRAR EL ELECTRÓN

Nuevas clases naturales, tales como los electrones, con frecuencia son el resultado de especulaciones iniciales que se van articulando y convirtiendo gradualmente en teoría y experimento.

Putnam insiste en que no es necesario apuntar hacia un caso de una clase natural para escogerlo y nombrarlo. Es más, señalar nunca es suficiente. Una tesis muy conocida, atribuida a Wittgenstein, dice que cualquier cantidad de actos de apuntar hacia casos particulares y llamarlos manzanas es consistente con varias —o indefinidamente muchas— maneras de aplicar la palabra "manzana" posteriormente. Más aún, ninguna cantidad de actos de definir las manzanas evita, en principio, la posibilidad de que la regla para usar la palabra "manzana" se ramifique de indefinidamente muchas maneras diferentes —por no mencionar metáforas curiosas, como aquel pedazo del cuello humano llamado manzana de Adán, o la manzana entre cuatro calles. No importa cuál sea nuestra opinión acerca de esta doctrina supuestamente wittgensteiniana, por lo menos está claro que apuntar nunca es suficiente. Lo que apuntar sí hace es darnos una conexión causal, histórica, entre nuestra palabra "manzana" y cierto tipo de fruta, a saber, las manzanas. Esa conexión podría establecerse de otras maneras, como se ilustra por la evolución de la teoría y el experimento alrededor de la palabra "electrón".

Putnam cuenta una historia sobre Bohr y el electrón. Bohr, según Putnam, tenía una teoría acerca de los electrones. No era una teoría estrictamente correcta, pero llamó la atención hacia esta clase natural de cosas. Deberíamos, dice Putnam, aplicar una especie de principio de caridad. Putnam lo llama el principio del beneficio de la duda, o más juguetonamente, el principio de los nombrados. Podemos tener dudas acerca de lo que Bohr estaba haciendo,

[3] D.H. Mellor, "Natural Kinds", *British Journal for the Philosophy of Science*, no. 28, 1977, pp. 299–312.

pero dado su lugar en nuestra tradición histórica, deberíamos conceder que hablaba efectivamente sobre electrones, si bien con una teoría inadecuada.

Como siempre, prefiero la verdad a la ciencia ficción. Bohr no inventó la palabra "electrón", sino que adoptó un uso establecido. Especuló acerca de una partícula ya desde entonces bastante comprendida. La historia correcta es la siguiente. "Electrón" fue el nombre sugerido en 1891 para la unidad natural de carga de la electricidad. Ya en 1874 Johnstone Stoney había estado escribiendo acerca de esta unidad natural, a la que llamó "electrón" en 1891. En 1897 J.J. Thomson mostró que los rayos catódicos consisten en lo que en aquel tiempo llamaban "partículas ultratómicas", portadoras de una carga negativa mínima. Durante mucho tiempo, Thomson, quien pensó con razón que había aislado algún tipo de materia última, llamó "corpúsculos" a esas partículas. Él determinó su masa. Mientras tanto, Lorentz estaba elaborando una teoría de una partícula de carga mínima a la que rápidamente llamó el electrón. Cerca de 1908 Millikan midió esta carga. Se mostró que la teoría de Lorentz y otros encajaba adecuadamente con el trabajo experimental.

En mi opinión, Johnstone Stoney estaba especulando cuando dijo que hay una unidad mínima de carga eléctrica. Le damos el beneficio de la duda o, más bien, el beneficio del nombrador, pues él fue quien inventó el nombre. Si se quiere, él también estaba hablando acerca de electrones (¿acaso importa?). Sin embargo, en relación con Thomson y Millikan no tengo la menor duda. Ellos habían avanzado bastante hacia el establecimiento de la realidad de estas partículas ultraatómicas cargadas, por medio de la determinación experimental de la masa y la carga. Thomson tenía una imagen falsa del átomo, comúnmente llamada el modelo del pudín. Su átomo tenía electrones como las pasas de un pudín británico. Pero el creyente en la inconmensurabilidad estaría loco si dijera que Thomson midió la masa de algo diferente del electrón —nuestro electrón, el electrón de Millikan, el electrón de Bohr.

El electrón proporciona una ilustración afortunada de la teoría de Putnam sobre la referencia. Sabemos ahora mucho más acerca de los electrones de lo que Thomson sabía. Regularmente hemos encontrado que las especulaciones acerca de los electrones y los experimentos con electrones pueden engranar. Al principio de la década de los veinte un experimento de O. Stern y W. Gerlach sugirió que los electrones tienen impulso angular, y poco tiempo después, en 1925, S.A. Goudsmit y G.E. Uhlenbeck tenían una teoría del espín del electrón. En el presente nadie duda que el electrón sea una clase natural de importancia fundamental. Muchos se imaginan ahora que el electrón no está cargado con la unidad mínima de carga eléctrica. Los quarks, se conjetura, tienen una carga de $1/3\ e$, pero esto no va contra

la realidad o el carácter genuino de los electrones. Sólo significa que una parte del estereotipo longevo debe revisarse.

ÁCIDOS: CLASES BIFURCANTES

Uno de los primeros ejemplos de Putnam concierne a los ácidos. "Ácido" no denota una entidad teórica, sino que es un término de clase natural como "agua". El creyente en la inconmensurabilidad diría que con la palabra "ácido" queremos decir algo diferente de lo que querían decir Lavoisier o Dalton hacia 1880. Nuestras teorías acerca de los ácidos han cambiado sustancialmente, pero, dice Putnam, todavía estamos hablando acerca del mismo tipo de cosa de la que hablaban los pioneros de la nueva química.

¿Está Putnam en lo correcto? Sin lugar a dudas hay un núcleo importante de propiedades en el estereotipo profesional de los ácidos: los ácidos son sustancias que en una solución acuosa saben agrio y cambian el color de indicadores como el papel tornasol. Reaccionan con muchos metales para formar hidrógeno y reaccionan con bases para formar sales.

Lavoisier y Dalton estarían completamente de acuerdo con este estereotipo. Lavoisier resultó tener una teoría falsa acerca de estas sustancias, pues pensaba que cada ácido contenía oxígeno. De hecho definió los ácidos de esa manera, pero en 1810 Davy mostró que era un error, porque el ácido muriático es sólo HCl, lo que ahora llamamos ácido clorhídrico. Pero no hay duda de que Lavoisier y Davy hablaban de la misma cosa.

Desafortunadamente para el ejemplo que eligió Putnam, los ácidos no son una historia tan exitosa como los electrones. Todo iba muy bien hasta 1923. En ese año, J.N. Brønsted en Noruega y T.M. Lowry en Gran Bretaña produjeron una nueva definición de "ácido", mientras que G.N. Lewis en Estados Unidos propuso una definición diferente. Hoy en día hay dos clases naturales: ácidos de Brønsted–Lowry, y ácidos de Lewis. Naturalmente estas dos "clases" incluyen todos los ácidos usuales, pero algunas sustancias son ácidos de sólo una de las dos clases.

Un ácido de Brønsted–Lowry es miembro de una especie que tiene una tendencia a perder un protón (mientras que las bases tienen una tendencia a ganar uno). Un ácido de Lewis pertenece a una especie que puede aceptar un par de electrones de una base para formar una ligadura química compuesta de un par de electrones compartidos. Las dos definiciones coinciden con respecto a las bases pero no con respecto a los ácidos, porque los ácidos de Lewis típicos no contienen protones, lo cual es una precondición para ser un ácido de Brønsted–Lowry. Tal y como yo lo entiendo, la mayoría de

los químicos prefieren la teoría de Brønsted–Lowry para muchos propósitos, porque al parecer ofrece una explicación más satisfactoria de muchos aspectos de la acidez. Por otro lado, la teoría de Lewis se utiliza para algunos propósitos y fue motivada originalmente por ciertas analogías con las características fenomenológicas de los ácidos más antiguas. Una autoridad escribe: "Numerosos y largos intercambios polémicos han tenido lugar con respecto a los méritos relativos de las definiciones de Brønsted-Lowry y Lewis para ácidos y bases. La diferencia es esencialmente de nomenclatura y tiene poco contenido científico." Aun así, el filósofo del nombrar debe preguntarse si Lavoisier se refería al ácido de Brønsted-Lowry o al ácido de Lewis cuando hablaba de los ácidos. Obviamente no se refería a ninguno de los dos. ¿Debemos ahora referirnos a una u otra especie? No, sólo para algunos propósitos especializados. Creo que este ejemplo está dentro del espíritu del planteamiento de Putnam sobre el significado. Sin embargo, hay un problema si lo entendemos literalmente. El significado de "ácido" en 1920 (*i.e.* antes de 1923) requiere que se llenen sus puntos de extensión. ¿Por Brønsted y Lowry? ¿O por Lewis? Puesto que las dos escuelas de química estaban, en parte, desarrollando la teoría de los ácidos, podríamos tratar "todas las cosas en las que se estaba de acuerdo en que eran ácidos en 1920, antes de que la extensión tuviera lugar". Pero esto casi con seguridad *no* es una clase natural. Podríamos tratar con la intersección de las dos definiciones, pero dudo también que eso sea una clase natural. Este ejemplo nos recuerda que la noción de significado no está bien adaptada a la filosofía de la ciencia. Deberíamos preocuparnos acerca de las clases de ácidos, no acerca de las clases de significado.

EL CALÓRICO: LA NO ENTIDAD

La gente habla del flogisto cuando quiere una clase natural no existente. El calórico es más interesante. Cuando Lavoisier rechazó la teoría del flogisto, necesitaba todavía una explicación del calor. Esto lo proporcionó el calórico. Así como sucede con la palabra "electrón", sabemos exactamente cuándo una sustancia se denominaba calórico. No sucedió de una manera casual. En 1785 había una comisión química francesa denominadora que decretaba cómo debían ser llamadas las cosas. Muchas sustancias han sido llamadas así desde entonces. Un nuevo nombre fue el de *calorique*, un término preciso introducido para reemplazar uno de los sentidos de la antigua palabra *chaleur*. Se suponía que el calórico no tenía masa (¿o que ésta era imponderable?) y que era la sustancia a la que llamamos calor. No todos

aceptaron la definición francesa oficial. Los escritores británicos hablaban despectivamente de "lo que los franceses persisten en llamar calórico cuando hay una palabra inglesa perfectamente adecuada, *fire* (fuego)".

Hay una tendencia a considerar cosas como el calórico simplemente estúpidas. Eso es un error. Como hice ver en el capítulo V, el calórico desempeña un papel real en el volumen final del gran libro de Laplace, *Mecánica celeste*, y allí el calórico no puede identificarse con el "fuego". Laplace era un gran newtoniano, y en la *Óptica*, Newton había especulado que la estructura fina del universo está compuesta de partículas con fuerzas de atracción y de repulsión. Las tasas de extinción de estas fuerzas variarían de un caso a otro (la tasa de extinción para la fuerza gravitacional es como el cuadrado de la distancia). Laplace postulaba diferentes tasas de extinción tanto para la atracción como para la repulsión del calórico dirigido a otras partículas. A partir de esto pudo resolver uno de los problemas sobresalientes del siglo. Los intentos de la física newtoniana por explicar la velocidad del sonido en el aire habían terminado en una gran confusión. A partir de sus presupuestos acerca del calórico, Laplace pudo obtener un número razonable, muy cercano a las determinaciones experimentales disponibles. Laplace tenía razón al estar orgulloso de su logro. Pero incluso antes de que publicara su resultado, Rumford trataba de convencer a algunas personas de que no podía haber tal cosa como el calórico.

Podría parecer que el calórico no es un problema para el significado de "significado" de Putnam. Éste es un caso raro en el que podemos llenar los puntos de la extensión. La extensión es el conjunto vacío. Pero esto es demasiado simple. Recordemos que Putnam estaba tratando de explicar cómo tanto nosotros como Lavoisier podríamos estar hablando acerca de los ácidos. La mayor parte de la respuesta la proporcionaron los puntos de la extensión. ¿Qué hay acerca del calórico? La comunidad de los científicos revolucionarios franceses —hombres como Berthollet, Lavoisier, Biot y Laplace— tenía diferentes teorías acerca del calórico. Aun así, ellos podían comunicarse entre sí, y me parece que hablaban sobre lo mismo. La observación simplista es: sí, sobre lo mismo, a saber, nada. Pero estos cuatro grandes hombres no hablaban sobre lo mismo que sus predecesores, quienes hablaban sobre el flogisto, que también tiene extensión cero. Estaban muy satisfechos de saber que el calórico no es el flogisto. La teoría de Putnam no nos da una buena respuesta de por qué el "calórico" tiene el mismo significado para toda esta gente: un significado diferente del flogisto. Sus estereotipos para el calórico eran diferentes de los del flogisto —pero no *tan* diferentes. En la teoría de Putnam, tampoco son los estereotipos los que fijan el significado. Creo que la lección es que el juego lingüístico de

nombrar nuevas entidades hipotéticas puede funcionar en ocasiones incluso si no se está nombrando ninguna cosa real.

MESONES Y MUONES: CÓMO LAS TEORÍAS ROBAN NOMBRES DE LOS EXPERIMENTOS

Es más fácil dar ejemplos viejos que recientes porque muchos ejemplos viejos se han vuelto de conocimiento general. Pero la filosofía de la ciencia pierde riqueza si se aferra al pasado. Así que mi último ejemplo va a ser un poco más actual, y por lo tanto más difícil de entender. Ilustra algo simple. Uno puede bautizar las x con el nuevo nombre N, y entonces se decide qué cosas y completamente diferentes son N. Debe buscarse algún otro nombre para las x. Los nombres no tienen por qué conservarse; pueden ser robados. Cualquiera que crea que la referencia funciona por medio de una conexión causal e histórica con la cosa nombrada debe reflexionar sobre el siguiente ejemplo.

Un mesón es una partícula de peso medio, más pesada que un electrón, más ligera que un protón. Hay muchas clases de mesones. Un muón es algo similar a un electrón, pero 207 veces más pesado. Los mesones son muy inestables. Se descomponen en mesones y muones más ligeros, y posteriormente en electrones, neutrinos y fotones. Los muones se descomponen en electrones y en dos tipos de neutrinos. La mayoría de los muones provienen de la descomposición de mesones. Puesto que los muones tienen carga, tienen que perder la carga cuando se descomponen. Esto lo hacen mediante ionización, es decir, expulsando electrones de los átomos. Puesto que esto disipa poca energía, los muones son muy penetrantes. Se encuentran en los rayos cósmicos y son la parte de estos rayos que puede atravesar kilómetros debajo de la superficie de la tierra para ser detectada en las profundidades de una mina.

El hecho fundamental acerca de estas dos clases de entidad tiene que ver con fuerzas y con interacciones. Hay cuatro clases de fuerzas en el universo: electromagnética, gravitacional, débil y fuerte. En el capítulo 16 se dará una explicación más amplia de la última clase de fuerza. Por lo pronto, son sólo nombres sugerentes. Las fuerzas fuertes unen a los electrones y a los protones en el átomo, mientras que las fuerzas débiles pueden ilustrarse en la declinación radiactiva. Los mesones tienen que ver con las fuerzas fuertes y fueron originalmente postulados para explicar cómo se mantiene unido el átomo. Forman parte de interacciones fuertes. Los muones sólo forman parte de interacciones débiles.

Cuando la mecánica cuántica se aplicó a la termodinámica, alrededor de 1930, surgió la electrodinámica cuántica, que abreviaremos como EDC. Desde entonces ha mostrado ser la mejor teoría del universo que se haya ideado, pues se aplica a una gama de fenómenos y tamaños de entidades más amplia que cualquier otra teoría previamente conocida. (Tal vez sea la concreción del sueño de Newton en la *Óptica*.) Al principio, como toda física, hacía presuposiciones simplificadoras, por ejemplo, que el electrón ocupa un punto. Se asumía que algunas de sus ecuaciones tendrían singularidades que no darían solución a problemas físicos reales, y que uno rectificaría esto por medio de una serie de aproximaciones *ad hoc*, por ejemplo, agregando términos extra a una ecuación.

En un principio se pensó que la EDC disponible no se aplicaba a las partículas altamente penetrantes en los rayos cósmicos. Deben ser electrones con mucha energía, y electrones con tanta energía producirían una singularidad en las ecuaciones de la EDC. Nadie estaba muy preocupado acerca de esto puesto que la física consiste en gran parte en hacer tales ajustes en las ecuaciones.

En 1934, H.A. Bethe y W.H. Heitler derivaron una consecuencia importante de la EDC. Se llama la fórmula de la pérdida de energía y se aplica a los electrones. En 1936, dos grupos de trabajadores (C.D. Anderson y S.H. Neddermeyer; J.C. Street y E.C. Stevenson), al estudiar los rayos cósmicos en cámaras de niebla, pudieron demostrar que las partículas energéticas de los rayos cósmicos no obedecían la fórmula de pérdida de energía de Bethe–Heitler. De hecho, por ese tiempo la teoría EDC fue confirmada en contra de las expectativas. Las ecuaciones de la EDC estaban bien; había, sin embargo, una nueva partícula que nunca se había soñado. A ésta se la llamó el mesotrón, porque su masa está entre la del electrón y la del protón. Este nombre pronto se abrevió como mesón.

Entretanto, en 1935, H. Yukawa había estado especulando acerca de lo que mantiene unido al átomo. Postuló que debía haber una nueva clase de objeto, también con masa intermedia entre la del electrón y la del protón. Evidentemente le preocupaba un problema enteramente diferente del de los rayos cósmicos, y no hay razón para suponer que Anderson, Neddermeyer, Street o Stevenson supieran acerca de los problemas de las fuerzas fuertes. Gente como Niels Bohr pronto juntó la especulación y el experimento y se supuso que la teoría de Yukawa se aplicaba a los mesones descubiertos por los experimentadores.

Sabemos exactamente cuándo y cómo tuvo lugar el nombramiento de

la partícula experimental. Millikan escribió lo siguiente en *The Physical Review*:[4]

> Después de leer la conferencia que dio Bohr en la Asociación Británica el pasado septiembre, en la que él tentativamente sugiere el nombre "yucón" para la partícula recién descubierta, le escribí y le mencioné incidentalmente el hecho de que Anderson y Neddermeyer habían sugerido el nombre "mesotrón" (partícula intermedia) como el nombre más apropiado. Acabo de recibir la respuesta de Bohr a esta carta, en la que dice:
>
> "Me place comunicarle que todos los participantes de una pequeña conferencia sobre los problemas de los rayos cósmicos que tuvo lugar en Copenhague, entre los que se encontraban Auger, Blackett, Fermi, Heisenberg y Rossi, hubo un total acuerdo en la propuesta de Anderson de darles el nombre de 'mesotrón' a las partículas penetrantes de los rayos cósmicos."
>
> Robert A. Millikan
>
> California Institute of Technology
> Pasadena, California
> 7 de diciembre de 1938

Obsérvese que Bohr sugirió el nombre "yucón" en honor de Yukawa, pero que el nombre del experimentador fue descartado por unanimidad. En realidad había problemas desde el principio acerca de si la partícula que Yukawa necesitaba era la partícula de 1936, ya que los tiempos de vida calculados eran muy diferentes de los reales. Mucho más tarde, en 1947, se encontró otra partícula en los rayos cósmicos, mientras que los nuevos aceleradores estaban empezando a verificar la existencia de una serie de partículas relacionadas en experimentos de dispersión. Éstas eran el tipo de cosas que Yukawa había querido, y llegaron a llamarse mesones π. La partícula de 1936 fue llamada mesón μ. Después de un tiempo quedó claro que eran dos cosas muy diferentes: un mesón π y un mesón μ son tan diferentes como puede ser cualquier otro par de entidades en la naturaleza. El nombre mesón se quedó para las partículas posteriores a 1947, y la partícula de 1936 se volvió un muón. Las historias sobre el tema implican que Anderson *et al.* estaban realmente buscando un objeto que encajara con la conjetura de Yukawa —¡una conjetura sobre la que nunca habían oído hablar!

[4] Esta carta fue publicada en *The Physical Reviews*, no. 55, 1939, p. 105. Los trabajos que utilizan la fórmula de la pérdida de energía de Bethe–Heitler para revelar los mesones originales (muones) son de S.H. Nedermeyer y C.D. Anderson, *ibid.*, no. 51, 1937, pp. 884–886, basados en datos y fotografías en *ibid.*, no. 50, 1936, pp. 263–267. También de J.C. Street y E.C. Stevenson, *ibid.*, no. 51, 1937, pp. 1005A.

Regresaré después a la pregunta ¿qué fue primero: la teoría o el experimento? El capítulo 9 tiene más ejemplos de cómo las historias obsesionadas con la teoría transforman las exploraciones experimentales en investigaciones de una teoría que era totalmente desconocida para los experimentadores.[5] Por lo pronto, nuestra preocupación es la referencia. La historia del mesón/muón no encaja bien con el significado de "significado" de Putnam. Putnam quería, en el fondo, hacer de la referencia el punto de partida del significado. El nombre se aplicaría a una entidad que había sido denominada con ese nombre en una ocasión histórica particular, como en un bautizo. En nuestro caso hubo un bautizo tal en 1938. Sin embargo, el nombre mismo de "mesotrón" o "mesón" llegó a significar, para los teóricos, "cualquier cosa que satisface la conjetura de Yukawa". En resumen, el nombre adquirió un tipo de sentido fregeano. Esto es lo que prevaleció, con o sin bautizo. Cuando se dieron cuenta de que este sentido no se aplicaba al objeto bautizado, el bautizo fue anulado, y tuvo lugar una nueva denominación.

EL SIGNIFICADO

La teoría del significado de Putnam funciona bien para historias exitosas como la del electrón. Es imperfecta en los bordes. Nos deja insatisfechos acerca de conceptos que se bifurcan, como el de la acidez. No explica cómo es que gente con teorías diferentes acerca de una entidad inexistente como el calórico puede comunicarse entre sí tan bien como gente con teorías diferentes acerca de entidades reales como los electrones. Descansa parcialmente en nombramientos históricos, el beneficio del nombrado, y en una cadena causal del tipo adecuado que vaya del primer bautizo a nuestro uso presente del nombre. Las comunidades reales ignoran alegremente un bautizo si así lo quieren. Los que quieren una teoría del significado para los términos científicos tendrán que mejorar a Putnam. También le pondrán atención al contraste entre la historia de Putnam y lo que sucede en la vida real, en las ciencias de la vida. Este contraste ha sido muy bien descrito por John Dupré.[6] Sólo quiero hacer una advertencia. Cuando los filósofos se dediquen a este tema, que no agiten las manos, en lo sucesivo, a causa de

[5] En una carta dirigida a C.W.F. Everitt acerca de nuestro proyecto conjunto "¿Qué fue primero: la teoría o el experimento?", el físico E. Purcell, premio Nobel, sugiere una serie de ejemplos de la manera como la teoría reescribe la historia experimental. Examinar su ejemplo del mesón μ me llevó a usar este ejemplo como ilustración de un robo del referente.

[6] "Natural Kinds and Biological Taxa", *The Philosophical Review*, no. 90, 1981, pp. 66–90.

nombramientos y bautizos y cosas por el estilo. Que, como Dupré, examinen, por ejemplo, la taxonomía. No hablemos de nombramientos abstractos, sino acerca de sucesos en los que hayan sido bautizados los gliptodontes, el calórico, los electrones o los mesones. Hay una historia verdadera que decir para cada uno de ellos. Hay una carta real escrita por Millikan. Hay reuniones reales que tuvieron lugar entre franceses para nombrar sustancias, incluyendo el calórico. Hubo incluso un tal Johnstone Stoney real. Las verdades acerca de estos sucesos van más allá de cualquier ficción filosófica.

No he querido desarrollar una teoría del significado. Mi propósito ha sido sólo negativo, el de describir una teoría del significado que es bastante natural para una gran cantidad de práctica lingüística, y que no se presta a hablar de la inconmensurabilidad. Es la clase de teoría que necesitan los realistas científicos acerca de las entidades. Resulta especialmente atractiva si uno es más bien indiferente respecto del realismo acerca de las teorías, pues si uno espera que nuestras teorías no sean estrictamente verdaderas, no querrá utilizarlas para definir entidades de manera permanente. Más bien, uno quiere una noción de referencia que no esté constreñida por ninguna teoría específica pero sí apegada a lo referido. Una explicación de la referencia a la Putnam no nos obliga, de cualquier forma, a ser realistas. Debemos ahora considerar por qué Putnam abandonó el realismo cabal.

7

EL REALISMO INTERNO

Este capítulo probablemente no sea pertinente para el tema del realismo científico y puede, por lo tanto, omitirse. Es acerca del nuevo e importante "realismo interno" de Putnam, aparentemente una especie de idealismo.[1] Un cambio del realismo al idealismo puede parecer fundamental para nuestra discusión, pero no lo es. Putnam ya no está comprometido con el debate entre el realismo científico y el antirrealismo acerca de la ciencia. Este debate marca una distinción clara entre entidades teóricas y observacionales. Todo lo que Putnam dice ahora ignora esta distinción. Y así debería ser. Su filosofía está fundada en reflexiones sobre el lenguaje, y ninguna filosofía de ese tipo puede enseñar nada positivo acerca de la ciencia natural.

Omitir las innovaciones de Putnam sería, sin embargo dejar de lado cuestiones de interés actual. Es más, puesto que él considera que Kant es su predecesor, podemos traer a colación el tipo de realismo e idealismo de Kant. Kant es importante para Putnam. Si simplificamos y suponemos que Kant también era un "realista interno" (o que Putnam es un "idealista trascendental") podemos imaginar a un Kant que, a diferencia de Putnam, hace hincapié en la diferencia entre las entidades observadas y las inferidas. Putnam parece ser un realista científico dentro de su realismo interno, mientras que podemos inventar un Kant que es un antirrealista acerca de las entidades teóricas dentro de un contexto similar.

REALISMO INTERNO Y EXTERNO

Putnam distingue dos perspectivas filosóficas. Una es la del "realismo metafísico", con una "perspectiva externalista" acerca de las entidades y de la verdad: "el mundo consiste en alguna totalidad fija de objetos independientes de la mente. Hay exactamente una descripción verdadera y completa de

[1] Todas las referencias a Hilary Putnam en este capítulo son a *Reason, Truth and History*, Cambridge, 1982.

'la manera como es el mundo'. La verdad supone algún tipo de correspondencia entre las palabras o signos del pensamiento y las cosas externas y los conjuntos de cosas" (p. 49). Putnam en su lugar propone una "perspectiva internalista" que sostiene que la pregunta:

> *¿Cuáles son los objetos que constituyen el mundo?* es una pregunta que sólo tiene sentido cuando se formula *dentro* de una teoría o descripción [. . .] "Verdad", en una concepción internalista, es algún tipo de aceptabilidad racional (idealizada) —algún tipo de coherencia ideal de nuestras creencias entre sí y con nuestras experiencias *tal y como esas experiencias se representan en nuestro sistema de creencias.*

En este nivel el internalismo y el pragmatismo tienen mucho en común. La posición de Putnam depende además de algunas ideas acerca de la referencia. Él rechaza el realismo metafísico porque nunca hay alguna conexión, o correspondencia, entre mis palabras y un grupo particular de entidades independientes de la mente. Los "objetos" no existen independientemente de los esquemas conceptuales. "Recortamos el mundo en objetos cuando introducimos un signo u otro. Puesto que los objetos *y* los signos son también *internos* al esquema de la descripción, es posible decir qué es lo que corresponde a qué" (p. 52).

Putnam registra otra diferencia entre el realismo interno y el metafísico. El internalista dice que la verdad es la adecuación óptima con la teoría. El externalista dice que la verdad es, bueno, pues la verdad.

Internalista: Si tuviéramos una teoría completa de cada cosa que nos interesa en el universo, y si la teoría fuera completamente adecuada de acuerdo con los cánones corrientes de la asertabilidad garantizada, de la racionalidad, o de lo que sea, entonces esta teoría sería, por definición, verdadera.

Externalista: Tal teoría muy probablemente sería verdadera. Pero es concebible que la adecuación sea una cuestión de suerte o demonología. La teoría puede servirnos, y aun así ser una teoría falsa acerca del universo.

INTERROGANTES ACERCA DEL REALISMO METAFÍSICO

El internalista de Putnam no puede darle sentido a una teoría completa del universo interesante que sea totalmente adecuada pero falsa. Yo soy externalista, y tampoco puedo darle sentido, *pero por una razón diferente*. No puedo entender la idea de una teoría completa de nuestro universo interesante. *A fortiori*, no entiendo la idea de que la teoría pueda ser adecuada pero

falsa, pues la idea de semejante teoría es incoherente. Puedo contemplar una teoría completa para aquellos miserables mundos posibles inventados por los lógicos, pero ¿para nuestro mundo? Disparates.

Cuatro artículos de la revista *Scientific American* de abril de 1979 se anunciaron en un volante: cómo la mano desnuda pega un golpe de karate; un reloj enzimático; la evolución de galaxias con forma de disco; huesos utilizados como oráculos en las dinastías Shang y Chow. ¿Cómo podría haber una teoría completa y unificada de tan siquiera estos cuatro temas, ya no se diga una teoría unificada acerca de *todo* (incluidos estos cuatro temas)?

¿Cómo podría haber siquiera una descripción completa de una cosa o una persona? P.F. Strawson hace notar lo siguiente en su libro *Individuals*.[2] "En general, la idea de una 'descripción exhaustiva' carece, de hecho, de sentido" (p. 120). Strawson estaba en aquel entonces escribiendo acerca de Leibniz. Leibniz puede ser el mejor candidato para realista metafísico. Pensaba que existe un cuerpo de verdades externas a nuestras creencias. Probablemente pensaba que había una descripción que era la mejor descripción, la descripción divina, del universo. Pensaba que hay una totalidad de objetos básicos, las mónadas. No supongo que pensara que eran "independientes de la mente", puesto que las mónadas son mentes, más o menos. Pero Leibniz no sostenía una teoría correspondentista de la verdad. Ni siquiera Leibniz satisface los requisitos de Putnam. ¿Algún pensador serio ha sido realista metafísico?

Tal vez no importe. Putnam estaba describiendo cierta perspectiva, más que una teoría definitiva de la realidad. Reconocemos bien esta perspectiva externalista. Pero tenemos que ser cuidadosos. Podría haber algunos ejemplos de esta perspectiva —algunos tipos de realismo externo— que fueran inmunes a las objeciones de Putnam, porque sus objeciones están dirigidas al realismo metafísico tal como *él* lo definió.

Por ejemplo, consideremos su frase en la definición "totalidad fija de objetos independientes de la mente". ¿Por qué fija? ¿Por qué una totalidad? Piénsese sólo en el ejemplo trivial de Eddington: hay dos mesas, a saber, la mesa en la que estoy escribiendo, y cierta colección de átomos. Un realista acerca de las entidades puede muy bien sostener: (a) hay mesas independientes de la mente; (b) hay átomos independientes de la mente, y (c) ningún conjunto de átomos es idéntico a esta mesa en este instante. Los átomos y las mesas tienen que ver con maneras diferentes de tallar la realidad. No

[2] Versión en castellano: *Individuos*, trad. Alfonso García Suárez y Luis Valdés Villanueva, Taurus, Madrid, 1989.

hay una totalidad fija de objetos. Un cubo de Rubik puede ser una totalidad de 27 cubos pequeños, pero no tiene que ser el caso que cada uno de éstos sea una totalidad de átomos que cuando se toman juntos sean la totalidad del cubo de Rubik.

¿Acaso no estoy aceptando entonces la tesis de Putnam mencionada anteriormente? Recortamos el mundo en objetos cuando introducimos un esquema u otro de descripción. Sí, esto lo acepto, metafóricamente hablando. No acepto la oración anterior, "Los 'objetos' no existen independientemente de los esquemas conceptuales". Hay tanto átomos como cubos de Rubik. Para tomar otro ejemplo trillado, se dice que los esquimales distinguen entre muchas clases de nieve que a nosotros nos parecen iguales. Ellos recortan el norte congelado introduciendo un esquema de descripción. De ninguna manera se sigue que no haya 22 tipos diferentes de nieve independientes de la mente, precisamente aquellos que los esquimales distinguen. Hasta donde yo sé, la nieve en polvo, la nieve llamada maíz, o el cemento de la sierra, de las que hablan algunos esquiadores, no contienen ni están contenidas en ninguno de los tipos de nieve de los esquimales. Los esquimales no esquían, y puede ser que nunca les hayan hecho falta tales categorías. Supongo que aun así hay nieve en polvo *y* todos los tipos de nieve de los esquimales, todas ellas distinciones reales independientes de la mente en un mundo real.

Estas observaciones no demuestran que haya nieve en polvo, ya sea que alguien piense en ella o no. Simplemente hacen ver que el hecho de que recortemos el mundo en varias categorías posiblemente inconmensurables no implica por sí solo que todas estas categorías sean dependientes de la mente.

No nos fiemos entonces de la manera como Putnam reúne una serie de tesis diferentes como si hubiera una conexión lógica entre ellas.

TRABAJO DE CAMPO METAFÍSICO

Como he afirmado, Putnam era un realista científico que se transformó en un tipo de antirrealista. ¿Cambió de bando? Podemos utilizar una analogía horrenda para decir que más bien cambió de guerra.

El realismo científico, opuesto al antirrealismo acerca de la ciencia, es una guerra *colonial*. El realista científico dice que los mesones y los muones son tan "nuestros" como los monos y las albóndigas. Todas esas cosas existen. Lo sabemos. Sabemos algunas verdades acerca de cada tipo de cosa y podemos averiguar más. El antirrealista no está de acuerdo. En la tradición

positivista de Comte y van Fraassen, el comportamiento fenomenológico de las albóndigas y los monos puede ser conocido, pero los muones son, a lo mucho, un constructo intelectual diseñado para la predicción y el control. Los antirrealistas acerca de los muones son realistas acerca de las albóndigas. Llamo a esto una guerra colonial porque un bando trata de colonizar nuevos territorios para extender lo que llama realidad, mientras que el otro bando se opone a tan extravagante imperialismo.

Hay también una guerra *civil* entre Locke y Berkeley, digamos. El realista (Locke) dice que muchas entidades familiares tienen una existencia independiente de cualquier proceso mental: habría monos aun cuando no hubiera pensamientos humanos. El idealista (Berkeley) dice que todo es mental. La llamo una guerra civil porque se realiza en el terreno familiar de la experiencia ordinaria.

Las guerras civiles no tienen por qué realizarse sólo en territorio propio. Berkeley combatió también en una guerra colonial. Detestaba la filosofía corpuscular y mecánica de Robert Boyle. Ésta decía, en el extremo, que la materia consiste en corpúsculos que rebotan como resortes (moléculas, átomos y partículas, como diríamos). Berkeley combatió en una guerra colonial en parte porque pensaba que, de ganar él, el palacio imperial de gobierno del realismo/materialismo se desmoronaría. La materia sería conquistada por la mente.

Finalmente hay una guerra *total*, en gran medida producto de tiempos más recientes. Tal vez Kant empezó con esto. Él rechaza las suposiciones de la guerra civil. Los sucesos materiales ocurren con tanta certeza como los mentales. Hay por cierto una diferencia entre ellos. Los sucesos materiales suceden en el espacio y en el tiempo y están "allá afuera", mientras que los sucesos mentales suceden en el tiempo pero no en el espacio y son "internos". Pero puedo saber que la albóndiga de mi plato está blanda tan bien como puedo saber que mis emociones están confusas. En general, no infiero la blandura a partir de mis datos sensoriales más de lo que infiero estar confundido a partir de mi comportamiento (aunque podría hacer cualquiera de esas dos cosas, en alguna ocasión).

Putnam en algún momento argumentó en favor del realismo científico en una guerra colonial. Ahora argumenta en favor de una posición que considera similar a la de Kant, en una guerra total. Tratemos de entender con más detalle la posición de Kant antes de abordar la de Putnam.

KANT

Kant observó a sus predecesores combatir en una guerra civil. Por un lado estaba la tesis de Locke. Kant denominaba a esta posición *realismo trascendental*: hay objetos realmente afuera, e inferimos su existencia y sus propiedades a partir de nuestra experiencia sensible. Estaba también la antítesis de Berkeley. Kant llama a esta posición *idealismo empírico*. La materia en sí misma no existe; todo lo que existe es mental.

Kant inventó una síntesis para voltear todo esto al revés. Literalmente invirtió las etiquetas. Se llama a sí mismo un *realista empírico* y un *idealista trascendental*.

No llegó a su posición final directamente, sino que se aproximó a ella a través de otra dualidad. ¿Es el espacio una noción meramente relativa, tal y como Leibniz sostenía y supuestamente Einstein estableció? ¿O es absoluto, como en el esquema newtoniano? Newton tenía la tesis de que el espacio y el tiempo son reales. Los objetos ocupan posiciones en un espacio y un tiempo predeterminados. Leibniz formuló una antítesis, que el espacio y el tiempo no son reales. Son ideales, esto es, construcciones a partir de las propiedades relacionales de los objetos. Kant vaciló entre ambos la mayor parte de su vida y después creó una síntesis. El espacio y el tiempo son las precondiciones para la percepción de algo como objeto. No es un hecho empírico que los objetos existan en el espacio y el tiempo, aunque podamos determinar experimentalmente las relaciones espacio-temporales en el marco del espacio y el tiempo. Éste es un *realismo empírico* que concede "la validez objetiva del espacio, con respecto a lo que se nos puede presentar exteriormente como un objeto". Al mismo tiempo es un *idealismo trascendental* que afirma que el espacio "no es nada [...] una vez que removemos [...] su limitación a la experiencia posible y tratamos de verlo como algo que yace tras las cosas en sí" (p. 72).[3] Le tomó a Kant otra década hacer encajar su enfoque con todo el rango de conceptos filosóficamente problemáticos. El inmaterialista Berkeley había negado la existencia de la materia y la externalidad de los objetos externos. No hay más que mente y sucesos mentales. La respuesta de Kant: "La materia es [...] sólo una especie de representaciones (intuición) que son llamadas externas, no porque estén en relación con objetos que sean externos en sí mismos, sino porque relacionan percepciones con el espacio en el que todas las cosas son externas entre sí, mientras que el espacio mismo está dentro de nosotros." Así, el espacio mismo es ideal, "dentro de nosotros", y a la materia se

[3] Kant, *La crítica de la razón pura*, Alfaguara, Madrid, 1984.

la considera correctamente externa porque existe como parte de un sistema de representación dentro de este espacio ideal. Para alcanzar la realidad de los objetos externos tengo tan poca necesidad de recurrir a la inferencia como la tengo con respecto a la realidad de los objetos de mi sentido interno, esto es, con respecto a la realidad de mis pensamientos. Pues en ambos casos los objetos no son otra cosa que representaciones, la percepción inmediata (conciencia) de lo que es al mismo tiempo una prueba suficiente de su realidad.

El idealismo trascendental es por ello un realismo empirista. Para el punto de vista de Kant es esencial que lo que llamamos objetos estén constituidos dentro de un esquema, y que todo nuestro conocimiento pueda pertenecer sólo a objetos así constituidos. Nuestro conocimiento es de fenómenos, y nuestros objetos están en el mundo fenoménico. Hay también noúmenos, o cosas en sí, pero no podemos tener conocimiento de ellos. Nuestros conceptos y categorías ni siquiera se aplican a cosas en sí. Los filósofos a partir de Hegel han rechazado las cosas en sí de Kant. Putnam, acercándose a Kant, expresa una ligera simpatía por la idea.

LA VERDAD

Según Putnam, "a pesar de que Kant nunca dice que eso es lo que está haciendo, la mejor manera de leerlo es pensar que lo que propone es lo que he llamado concepción 'internalista' o 'realista interna' " de la verdad (p. 60). Como muchos otros filósofos modernos, Putnam construye gran parte de su filosofía en torno a la idea de verdad. Dice de Kant que en su filosofía "no hay una teoría correspondentista de la verdad". Esto no es sorprendente: no hay *ninguna* teoría de la verdad en la filosofía de Kant. Las preocupaciones de éste no son las preocupaciones de Putnam. En lo tocante a los realismos, Kant tenía dos problemas principales:

¿El espacio y el tiempo son reales o ideales, newtonianos o leibnizianos?

¿Los objetos externos son independientes de la mente y lockeanos, o todo es mental y berkeleiano?

Su realismo empírico e idealismo trascendental es una síntesis de las oposiciones y tiene poco que ver con la verdad. No obstante, la inyección de Putnam de una teoría de la verdad en Kant no está totalmente equivocada. Putnam atribuye a Kant las siguientes ideas:

> Kant no cree que tengamos conocimiento objetivo.
> El uso de los términos "conocimiento" y "objetivo" equivale a la aseveración de que *todavía hay una noción de verdad.*
> Una porción de conocimiento (*i.e.* "un enunciado verdadero") es un enunciado que un ser racional aceptaría sobre la base de suficiente experiencia del tipo que para seres de nuestra naturaleza es posible tener.
> *La verdad es la máxima adecuación con los datos* (p. 64).

Tal vez Putnam haya dado en el clavo, ya que él mismo se inclina hacia una idea pragmatista de que la verdad es aquello que una comunidad racional encontrará coherente y en lo que llegará a ponerse de acuerdo en un tiempo futuro. Kant escribió:

> Sostener que algo es verdadero es una ocurrencia en nuestro entendimiento que si bien puede descansar sobre bases objetivas, también requiere causas subjetivas en la mente del individuo que hace el juicio. Si el juicio es válido para todos, asumiendo únicamente que se está en poder de la razón, su base es objetivamente suficiente [...] La verdad depende del acuerdo con el objeto, y con respecto a él los juicios de todos y cada uno de los entendimientos deben estar de acuerdo [...] El criterio para decidir si nuestra afirmación de que algo es verdadero es objetiva, es la posibilidad de comunicarla y de encontrar si es válida para toda razón humana. Porque entonces tenemos por lo menos la presunción de que la base del acuerdo de todos los juicios entre sí, a pesar de los caracteres diferentes de los individuos, descansa sobre una base común, y que a esta razón se debe que todos ellos estén de acuerdo con el objeto —con lo cual se prueba la verdad del juicio. (p. 645)

¿Hasta qué punto esto hace que Kant se acerque a Putnam? Esta pregunta se la dejo al lector. Putnam piensa que la asertabilidad racional garantizada y la verdad van de la mano. Kant escribió también: "No puedo *afirmar* nada, esto es, declarar que es un juicio necesariamente válido para cualquiera, salvo en tanto que da lugar al acuerdo universal entre personas que razonan." (p. 646)

LAS ENTIDADES TEÓRICAS Y LAS COSAS EN SÍ

Los eruditos no están de acuerdo acerca del mundo nouménico de las cosas en sí de Kant. Putnam interpreta a Kant como si sostuviera que no sólo no podemos describir cosas en sí, sino que "no hay ni siquiera una correspondencia uno a uno entre cosas para nosotros y cosas en sí". No hay un caballo en sí que corresponda al caballo en el campo. Sólo hay un *mundo*

nouménico que, como una totalidad, de alguna manera "da lugar a" nuestro sistema de representaciones.

Ha habido tradiciones de interpretación muy diferentes. Una sostiene que las entidades teóricas son las cosas en sí de Kant. Encuentro esta interpretación por primera vez en J.M. Ampère (1775–1836), fundador de la teoría del electromagnetismo. Profundamente influido por Kant, no podía tolerar los impulsos antirrealistas que andaban sueltos por el mundo. Insistía en que podemos postular noúmenos, y leyes entre ellos, que puedan contrastarse en la experiencia. Este método postulacional e hipotético-deductivo, sostenía Ampère, es una investigación inteligente del mundo nouménico. En nuestros días, Wilfred Sellars adopta una posición parecida.

Puede haber incluso una conexión importante, en el desarrollo del propio pensamiento de Kant, entre noúmeno y las entidades teóricas. En 1755, cuando era joven, Kant escribió un pequeño tratado de física llamado *Monadología*. Ésta es una anticipación admirable de nuestra moderna teoría de campos y fuerzas. Dos años más tarde, Boscovič elaboró esta idea con bastante más habilidad matemática y lanzó por el mundo la teoría de los campos. En la física temprana de Kant, el mundo está hecho de partículas puntuales —mónadas— separadas por distancias finitas y que despliegan campos de fuerza en su medio ambiente. Las propiedades de la materia se explican a partir de la estructura matemática resultante. *En 1755 estas partículas puntuales teóricas eran los noúmenos de Kant.* Más tarde revisó la idea, y se dio cuenta de que había una inconsistencia formal en sus teorías. Sólo podía resolverse eliminando las cosas, las partículas puntuales, y dejando sólo los campos de fuerza. Como resultado, en la estructura subyacente del universo *no hay cosas, no hay noúmenos.* Posteriormente vino la famosa síntesis kantiana de estas proposiciones conflictivas: no hay noúmenos *cognoscibles.*

Así, es tentador sugerir que la doctrina de Kant acerca de las cosas en sí surgió tanto de su física como de su metafísica. Kant no fue muy importante como científico, pero habría sido un miembro maravilloso de uno de los comités de alguna fundación nacional para la ciencia que reparten dinero para la investigación en proyectos muy diferentes. Él escogió ganadores. Estaba lo que ahora llamamos hipótesis de Kant-Laplace, acerca de la formación del sistema solar. Desde el principio estuvo del lado de las hipótesis evolucionistas acerca del origen de las especies y de la raza humana. Prefirió las teorías de campo a las teorías atomistas. Ahora bien, el estado del conocimiento apropiado para su siglo le otorgaba poca importancia al significado de los términos teóricos como cosas en sí. Había, en efecto, cuestiones hipotéticas de diversos tipos, como los fluidos eléctricos

de Franklin y muchos otros, o los polos magnéticos de Coulomb. Se hablaba mucho acerca de las partículas y fuerzas newtonianas, pero fue sólo después de la muerte de Kant, justo al principio del siglo XIX, cuando las entidades teóricas empezaron a circular vigorosamente. La actitud de Kant hacia la cosa en sí es una reacción cuasicientífica a las modificaciones de su programa de 1775. Ampère, el primero que proclamó que después de todo hay noúmenos cognoscibles, a saber, las entidades teóricas de la nueva física y de la nueva química, refleja la transformación en la física. Él empezó su carrera como químico, y proclamó los noúmenos cognoscibles tan pronto dominó las nuevas conjeturas acerca de la estructura de los elementos.

¿Qué posición debería haber tomado Kant acerca de las entidades teóricas que realmente cumplen alguna función en la ciencia? ¿Qué habría hecho en el siglo XX, cuando hemos aprendido a manipular y rociar electrones y positrones? Su propio realismo/idealismo estaba dirigido a los objetos observables familiares. Negaba que los infiriéramos de nuestros datos de los sentidos. En contraste, las entidades teóricas se infieren de los datos. ¿Habría sido Kant un realista acerca de las sillas, que no requieren inferencia, mientras que habría permanecido como antirrealista empírico acerca de los electrones? Ésa parece ser una posición posible.

REFERENCIA

La contribución más original de Putnam concierne a la referencia más que a la verdad. Su significado de "significado", descrito en el capítulo anterior, contiene las semillas de su propia destrucción. Es fácil verlas, porque no son otra cosa que lo que he llamado los "puntos de la extensión". El significado de un término de clase natural es una sucesión de elementos que terminan en la extensión, pero no se puede escribir.

Putnam primero pensó que, a diferencia de los sentidos fregeanos, la referencia no era problemática. La referencia de "gliptodonte" podía indicarse señalando un esqueleto y algunas características del estereotipo. Si los gliptodontes formaran una clase natural, la naturaleza haría el resto y determinaría la extensión. Las entidades teóricas no podrían simplemente señalarse, sino que se manejarían por medio de una narración histórica sobre la introducción de los términos que las denotan, más algunos principios de caridad del beneficio de la duda.

Putnam se volvió escéptico. El malestar acerca de los significados y los sentidos fregeanos debe mucho a la doctrina de W.v.O. Quine acerca de la indeterminación de la traducción. Quine tenía una tesis paralela acerca

de la referencia: la inescrutabilidad de la referencia. Dicho crudamente, la idea es que nunca podemos decir sobre qué está hablando alguien más, ni tampoco importa mucho. Quine afirmó esto con ejemplos modestos: cuando hablo de conejos, usted puede oírme hablar de rodajas espacio-temporales de "conejeidad". Putnam le agrega la inescrutabilidad real. Cuando habla de gatos y alfombras usted puede referirse a lo que yo me refiero cuando hablo de cerezas y árboles —y aun así la diferencia en la referencia no saldría a relucir, porque cualquier cosa de la que yo esté seguro (algún gato está en alguna alfombra) se expresa con una oración que bajo su interpretación es algo en lo que usted tiene la misma seguridad (alguna cereza está en algún árbol).

Esto es ciertamente extraordinario. Tenemos dos dificultades. Necesitamos ver esta extraña afirmación con cierta verosimilitud, y necesitamos entender su lugar en el argumento contra el realismo externo o metafísico. Por lo tanto, necesitamos tener un argumento local para la conclusión acerca del gato/cereza, y necesitamos tener un argumento global que nos muestre cómo esto nos lleva a una posición antimetafísica.

GATOS Y CEREZAS

> *Ninguna teoría que sólo fije el valor de verdad de oraciones enteras puede fijar la referencia*, aun cuando ésta especifique los valores de verdad para las oraciones en todo mundo posible.

Ése es el teorema de Putnam (p. 33), que explicaremos a continuación. Su valor efectivo se presenta en términos de gatos y cerezas. Cada vez que usted habla de cerezas, se podría referir a lo que yo llamo gatos, y viceversa. Si yo dijera seriamente que un gato está en una alfombra, usted asentiría, porque usted entendió que yo decía que una cereza estaba en un árbol. Podemos estar totalmente de acuerdo acerca de los hechos del mundo —esto es, acerca de las oraciones que sostenemos que son verdaderas—, y aun así podría ser que nunca pareciera que cuando yo estoy hablando acerca de los gatos usted está hablando acerca de lo que yo llamo cerezas. Es más, su sistema de referencia podría diferir sistemáticamente del mío de tal manera que la diferencia entre nosotros nunca podría salir a relucir, sin importar lo que sea verdadero acerca de los gatos y las cerezas.

Esta conclusión sorprendente se sigue de un conocido resultado de la lógica matemática, llamado el teorema de Löwenheim-Skolem. La idea

básica es el resultado del trabajo de Löwenheim en 1915, continuado por Skolem en 1920. En aquel tiempo se pensaba que era plausible tratar de caracterizar objetos matemáticos, tales como los conjuntos, por medio de la postulación de axiomas. Un objeto deseado, tal como un conjunto, sería algo que se adecuaría a algunos postulados, y así los postulados definirían la clase de objetos deseados. Es más, se esperaba que esto se pudiera hacer en la única rama de la lógica que se entiende bien, la llamada lógica de primer orden —la lógica de las conectivas oracionales ("*y*", "*no*", "*o*") y los cuantificadores de primer orden ("*todos*", "*algún*").

Los lógicos de entonces pensaban que algún tipo de teoría de conjuntos podría servir como fundamento de muchas, o acaso de todas las ramas de la matemática. Georg Cantor demostró un resultado famoso. Primero aclaró la idea de que algunos conjuntos infinitos son más grandes que otros. Luego demostró que el conjunto de todos los subconjuntos de los números naturales es mayor que el conjunto de los números naturales. En otra formulación, mostró que el conjunto de todos los números reales, o el de todos los números expresados como números decimales, es mayor que el conjunto de los números naturales. Una vez que este hecho fue digerido y aceptado por los lógicos clásicos, Löwenheim y Skolem demostraron algo que a primera vista parecía paradójico.

Usted escribe algunos postulados que espera que capturen la esencia de los conjuntos que se construyen a partir de conjuntos de números naturales. Dentro de estos postulados se puede demostrar el teorema de Cantor, que dice que el conjunto de los subconjuntos de los números naturales no es denumerable, esto es, no puede ser pareado con los números naturales y por lo tanto es más grande que el conjunto mismo de los números naturales. Hasta aquí no hay problema. Por la forma como usted pretende que se entiendan sus postulados, está hablando de conjuntos cantorianos. Löwenheim y Skolem demostraron, sin embargo, que cualquier teoría, expresada en lógica de primer orden, que es verdadera de algún dominio de objetos, es también verdadera de un dominio denumerable. Así, usted pretendía que sus postulados fueran verdaderos de los conjuntos cantorianos. El teorema de Cantor inmediatamente nos convenció de que hay más conjuntos cantorianos que números naturales. Pero esos mismos postulados pueden reinterpretarse como verdaderos de un dominio mucho más pequeño. Suponga que *P* es el signo que, en su teoría, denota el conjunto de todos los subconjuntos de los números naturales. Ése es mayor que el conjunto de todos los números naturales. Su teoría puede reinterpretarse de tal manera que *P* denote algo muy diferente, un conjunto no mayor que el conjunto de los números naturales.

El teorema de Löwenheim–Skolem pareció paradójico alguna vez, pero ahora ya ha sido digerido. La mayoría de los estudiantes de lógica lo encuentran obvio, natural e inevitable. Dicen cosas como: "en una formulación de primer orden tiene que haber modelos no estándar".

Putnam le devuelve al teorema su aire paradójico. Lleva a cabo una generalización correcta. Se aplica a cualquier dominio de individuos, a los gatos y a las cerezas, digamos. Tomemos como axiomas todas las verdades acerca de estas cosas —todas las verdades que alguna vez diré, o que la gente alguna vez dirá, o simplemente todas las verdades genuinas expresables en el lenguaje de primer orden. Sin importar qué se escoja, siempre habrá interpretaciones no deseadas: es más, cuando seleccionamos dos tipos de objetos, gatos y cerezas, y utilizamos una breve lista de verdades, podemos hacer que la interpretación deseada acerca de los gatos sea mapeada en la interpretación no deseada acerca de las cerezas. Putnam proporciona los detalles tanto para el ejemplo breve como para el teorema completo.

LAS IMPLICACIONES PARA EL REALISMO CIENTÍFICO

Putnam supone que estos resultados técnicos son perjudiciales para el realismo científico. ¿Por qué? En gran medida porque piensa que el realismo científico es finalmente una copia o una teoría correspondentista de la verdad. Nuestras teorías son verdaderas porque representan el mundo, y se aferran al mundo por medio de su referencia a objetos —una referencia que Putnam ahora piensa que sólo tiene sentido dentro de un sistema de creencias.

Gran parte de esta posición es bastante conocida. Una antigua crítica a las teorías correspondentistas es que los enunciados supuestamente corresponden a los hechos, pero no hay manera de distinguir los hechos excepto en términos de los enunciados a los que corresponden. G.E. Moore no es famoso por su antirrealismo, pero he aquí la forma como expresó esta idea hace 80 años, en un artículo sobre "Verdad" que se publicó en el diccionario de filosofía de Baldwin:

> A menudo se asume que la verdad de una proposición consiste en alguna relación que ésta tiene con la realidad, y la falsedad es la ausencia de esta relación. La relación en cuestión se llama generalmente "correspondencia" ó "acuerdo" y parece que generalmente se la concibe como una relación de similitud parcial; pero debe observarse que sólo de las proposiciones puede decirse que son verdaderas en virtud de su similitud parcial con algo más, y por lo tanto que es esencial a la teoría que una verdad deba diferir, de alguna

manera específica, de la realidad, en relación con la cual se ha de constituir su verdad, en todos los casos a excepción de aquel en el que la propia realidad es una proposición. La imposibilidad de encontrar alguna diferencia tal entre una verdad y la realidad a la que supuestamente corresponde es lo que refuta la teoría.

Se ha sostenido, como hace J.L. Austin por ejemplo, que las teorías correspondentistas sí tienen algún mérito porque, al contrario de lo que dice Moore, hay una manera independiente de seleccionar los hechos. Antes que nada, hay maneras independientes de seleccionar las cosas y las cualidades de las que hablamos: señalándolas, por ejemplo. Después hacemos afirmaciones mediante la conexión de expresiones referenciales y de nombres para propiedades y relaciones. Una proposición es verdadera sólo si el objeto referido posee la propiedad nombrada. Putnam tiene que suponer que su uso del teorema de Löwenheim–Skolem corrompe este paso austiniano, demostrando otra vez que no hay manera de hacer una referencia independiente. Pero todo lo que Putnam ha mostrado es que no se puede hacer una referencia exitosa por medio de la formulación de un conjunto de verdades en lógica de primer orden. Cuando examinamos más de cerca el teorema de Löwenheim–Skolem recordamos que tiene premisas. Hay maneras de eludir esas premisas y por lo tanto de poner en duda las conclusiones de Putnam.

LAS PREMISAS

1. El teorema de Löwenheim–Skolem es acerca de enunciados de lógica de primer orden. Nadie ha mostrado jamás que el lenguaje común de los físicos pueda reducirse a un formato de primer orden. Así pues, no sabemos si el argumento es pertinente para la electrodinámica cuántica, digamos, y por lo tanto al realismo científico.
2. Hay una influyente escuela de pensamiento, motivada por el difunto Richard Montague, según la cual el inglés ordinario utiliza principalmente cuantificadores de segundo orden. El teorema de Löwenheim–Skolem no se extiende de una manera directa a tales lenguajes, por lo que la aplicabilidad del trabajo de Putnam al inglés llano y precientífico es polémica.
3. Gran parte del habla común supone los llamados indexicales. Son palabras cuya referencia depende del contexto en el que se pronuncian: esto, eso, usted, yo, aquí, ahora (por no mencionar nuestros verbos conjuga-

dos). Esta mañana, al salir, oigo por casualidad: "Oye, tú, deja de cortar mis cerezas, ven acá en este instante." Sólo el dogma podría insistir en que esta oración ordinaria puede expresarse en lógica de primer orden.

4. La introducción de indexicales avanza sólo una parte del camino. Los indexicales son señaladores, pero siguen siendo lingüísticos. El lenguaje está incrustado en un amplio rango de actividades en el mundo. Es extraño que Putnam se refiera a Wittgenstein durante su discusión, recordándonos el argumento de este último según el cual los significados no pueden darse exhaustivamente por medio de reglas. Eso no quería decir, para Wittgenstein, que hubiera algo intrínsicamente indeterminado y abierto a la reinterpretación en nuestra *práctica* lingüística. Quería decir que el lenguaje es algo más que hablar. Éste no es el lugar para exponer una versión de sus ideas, pero las cerezas son para comerlas; los gatos, tal vez, para acariciarlos. Una vez que el habla se incrusta en la acción, hablar del teorema de Löwenheim-Skolem parece escolástico. Ellos estaban enteramente en lo correcto en lo que decían acerca de cierta concepción de los objetos matemáticos. Sabiamente evitaron discutir sobre los gatos. Con números muy grandes no podemos hacer otra cosa que hablar de ellos. Con los gatos nos relacionamos de otras maneras diferentes del habla.

5. Putnam afirma que en cualquier teoría que propongamos sobre la referencia y la denotación, palabras tales como "denotar" y "referir" pueden reinterpretarse. Supongamos que yo digo que "gato" denota animales como éstos que están en mi regazo. Él pregunta: ¿cómo sé que "denota" denota denotar? Pero por supuesto que nunca uso palabras como "denotar" cuando explico el uso de las palabras. Esta función puede cumplirla "Ése es un esqueleto de gliptodonte" cuando se usa para explicar lo que es un gliptodonte. No necesito una teoría de la referencia para referir, y por lo menos puede decirse, sobre fundamentos posiblemente aprendidos de Wittgenstein, que no podría haber una teoría general de la referencia.

6. Putnam escribe acerca de un antirrealismo no científico, por lo que es correcto hablar de cerezas y de gatos. ¿Podríamos aceptar su afirmación para el caso de las entidades teóricas de las ciencias naturales? ¿La atribución de nombres a las entidades no se da totalmente al nivel del lenguaje? No, a menudo no es así. Véase por ejemplo el artículo de Anderson y Neddermeyer publicado en 1936, mencionado en el capítulo anterior. Éste es el que contiene los datos sobre la base de los cuales la comunidad de físicos nombró al mesotrón o mesón, más tarde llamado muón. El artículo está lleno de fotografías. No son instantáneas de muones, sino

de trayectorias. Mide los ángulos entre las trayectorias causadas por las colisiones de esto y eso. Usamos indexicales tan breves como "esto" y "eso" para señalar las entidades más teóricas —no señalándolas a ellas, sino señalando sus trayectorias. No es que allí nos detengamos. Como quedó claro en el capítulo anterior, al principio la gente no estaba muy segura que digamos acerca de esas cosas que después se llamaron muones. Pero ahora, por ejemplo, sabemos que la masa del muón es 206.768 veces la del electrón.

Esta última oración parecerá agua para el molino de Putnam, ya que es el tipo de verdad que podemos poner como axioma en una teoría de los muones. ¿Podemos pues exponerlo a la reinterpretación de Löwenheim-Skolem? No lo creo, pues ¿cómo fue que obtuvimos este número exacto con tres cifras decimales? Es un cálculo bastante complicado en el que determinamos un montón de cantidades, como el momento magnético del electrón libre, el magnetón de Bohr y otras cosas refinadas, y, en particular, relaciones entre varias constantes de la naturaleza. Ahora bien, si esto fuera sólo un montón de oraciones y pudiéramos hacer toda la física matemática en términos de la lógica de primer orden, se aplicaría el teorema de Löwenheim–Skolem. Pero en todos los casos los números y proporciones están íntimamente conectados a determinaciones experimentales específicas. Todas éstas a su vez están conectadas con gente, con lugares y, sobre todo, con haceres. (Un ejemplo típico: el grupo de la Universidad de Washington-Lawrence Radiation Laboratory, *i.e.* K.M. Crowe, J.F. Hague, J.E. Rotherberg, A. Schenck, D.L. Williams, R.W. Williams y K.K. Young, *Phys. Rev. D.* 2145, 1972.) Tampoco es sólo un conjunto de haceres, sino muchos *haceres* independientes pero no totalmente distintos a lo largo del mundo.

7. Putnam suscribe la pregunta de si acaso los seres humanos podrían usar su interpretación no deseada de la palabra "gato". Él nota una simetría entre las interpretaciones deseadas y las no deseadas: todo lo que explicamos en términos de gatos otros lo pueden explicar en términos de cerezas. Reitera una discusión que se deriva del libro *Fact, Fiction and Forecast* de Nelson Goodman. Hay un hecho importante que él ignora. El teorema de Löwenheim-Skolem no es constructivo. Esto es, en principio no hay una manera humanamente accesible de generar una interpretación no deseada.

8. Tampoco necesitamos ejemplos técnicos para empezar a cuestionar la seguridad de Putnam. Putnam cita a su colega Robert Nozick como si éste sugiriera que (en opinión de Putnam) todas las mujeres pueden querer

decir gatos cuando hablan de cerezas, mientras que "nosotros" los hombres queremos decir cerezas. Pero hay, por ejemplo, adjetivos nominales, ilustrados por cerezas chinas y gatos persas. Adjetivos nominales tales como "chinas" no son modificadores ordinarios como "dulce", porque las cerezas chinas dulces son frutos dulces, pero no son "frutos chinos". ¿Cómo continúa entonces la interpretación de Nozick y Putnam? ¿Sus mujeres fantásticas quieren decir gatos persas cuando ellas hablan de cerezas Reina Ana? ¿Cada tipo de cereza se mapea con un tipo de gato? Eso no funcionará, porque el número de tipos de cereza es diferente del número de tipos de gato, así que ningún mapeo de esta clase va a preservar la estructura de los adjetivos nominales. Sobre todo, las cerezas Reina Ana se usan para pasteles, mientras que las cerezas chinas se destinan generalmente a comerse maduras del árbol. ¿Cómo se manifestarían estos hechos en la estructura de los hechos acerca de los gatos?

Putnam tal vez esté cometiendo uno de los errores más graves de la filosofía. Él tiene un teorema abstracto. Entonces explica su contenido en términos de una oración que nadie antes de él ha pronunciado, y que comúnmente no tendría sentido pronunciar fuera de la lógica: "Alguna cereza está en algún árbol." Luego pasa a la aseveración de que así como se puede reinterpretar "cereza" se puede reinterpretar "denotar". Todo aquel floreciente mundo ordinario en el que se hacen pasteles con cerezas Reina Ana y se determina la proporción de las masas de los muones y los electrones, todo eso se deja fuera.

No continuaré. Sólo quería hacer hincapié en que (a) asegurar la referencia no consiste principalmente en pronunciar verdades, sino en interactuar con el mundo, y en que (b) incluso en el nivel del lenguaje hay mucho más estructura que la que Putnam examina, ya sean cuestiones profundas acerca del lenguaje de la física matemática, u observaciones triviales acerca de las cerezas chinas.

EL NOMINALISMO

Las reflexiones anteriores no quieren decir que uno tenga que estar en desacuerdo con la filosofía subyacente de Putnam. Sólo quieren decir que lo que parece un argumento espléndido requiere pulirse más de lo que hasta ahora se ha hecho. ¿Cuál es el punto de vista subyacente? He seguido a Putnam en la comparación de sus ideas con las de Kant, pero hay una diferencia importante. Kant se llamaba a sí mismo un idealista

trascendental. Yo llamaría a Putnam un nominalista trascendental. Ambas son clases de antirrealismo. Antes de Kant, por realismo generalmente se entendía antinominalismo. Después de Kant, generalmente se entendía antiidealismo.

El idealismo es una tesis acerca de la *existencia*. En su forma extrema dice que todo lo que existe es mental, una producción del espíritu humano.

El nominalismo es acerca de la *clasificación*. Dice que sólo nuestras maneras de pensar nos hacen distinguir pasto de paja, carne de follaje. El mundo no tiene por qué clasificarse de esta manera; no viene empacado en "clases naturales". En constraste, el realista aristotélico (el antinominalista) dice que el mundo sólo viene en ciertas clases. Es el modo de la naturaleza, no el del hombre.

El idealista no tiene que tener una opinión acerca de la clasificación. Puede sostener que efectivamente hay una distinción entre pasto y paja. Sólo dice que no hay cosas, pasto y paja; sólo hay ideas, entidades mentales. Pero las ideas podrían tener esencias reales.

A la inversa, el nominalista no niega que haya cosas reales que existan independientes de la mente. Sólo niega que estén intrínseca y naturalmente ordenadas de alguna manera en particular, independiente de cómo pensemos acerca de ellas.

De hecho, el nominalismo y el idealismo tienden a ser parte del mismo tipo de mente. Ésta es una de las razones por las cuales se ha usado la palabra "realismo" para denotar la oposición a cualquiera de las dos doctrinas. Pero las dos son lógicamente distintas.

Yo interpreto a Kant de una manera tal vez extrema. Él pensaba que el espacio y el tiempo son ideales. Literalmente no existen. A pesar de que hay relaciones empíricas determinables dentro del espacio y el tiempo, esas relaciones, al ser espaciotemporales, no tienen existencia más allá de la mente. Kant era efectivamente un *idealista* trascendental. Putnam es, por el contrario, un *nominalista* trascendental.

El realismo interno de Putnam puede resumirse de la siguiente manera: en mi sistema de pensamiento me refiero a varios objetos y digo cosas acerca de esos objetos, algunas verdaderas y algunas falsas. Sin embargo, nunca puedo salir de mi sistema de pensamiento y sostener alguna base para la referencia que no sea parte de mi propio sistema de clasificación y denominación. Precisamente eso es el realismo empírico y el nominalismo trascendental.

NOMINALISMO REVOLUCIONARIO

T.S. Kuhn también ha sido interpretado como idealista. Creo que a él también se le entiende mejor como nominalista trascendental —alguien que llegó allí antes que Putnam. Pero mientras que las reflexiones de Putnam están basadas en un teorema *a priori* y sus supuestas implicaciones para el lenguaje, Kuhn tiene para su posición una base adquirida en la vida real.

Una revolución científica, en opinión de Kuhn, produce una nueva manera de dirigirse a algunos aspectos de la naturaleza. Proporciona modelos, supuestas leyes, clases de entidades, poderes causales que no tenían cabida en la ciencia precedente. En un sentido completamente incontrovertible puede ser que ahora vivamos en un mundo diferente al de la edad decimonónica del vapor: un mundo en el que los aviones están por todos lados y los ferrocarriles están cayendo en bancarrota. Dicho más filosóficamente (tal vez), es un mundo diferente, en tanto que se lo ha categorizado de nuevas maneras, se lo piensa lleno de nuevas potencialidades, nuevas causas, nuevos efectos. Pero esta novedad no es la producción de nuevas entidades en la mente. Es la imposición de un nuevo sistema de categorías sobre los fenómenos, incluidos los fenómenos creados recientemente. Por eso lo llamo una clase de nominalismo. He aquí una formulación reciente del mismo Kuhn:

> Lo que caracteriza las revoluciones es, pues, un cambio en varias de las categorías taxonómicas que son un prerrequisito para las descripciones y las generalizaciones científicas. Es más, ese cambio es un ajuste no sólo de los criterios pertinentes para la categorización, sino también de la manera en la que los objetos y las situaciones dadas son distribuidas entre las categorías preexistentes. Puesto que tal redistribución siempre supone más de una categoría, y puesto que estas categorías son interdefinibles, este tipo de alteración es necesariamente holista.[4]

Kuhn no es un nominalista anticuado. Eso lo sería alguien que pensara que todas nuestras clasificaciones son un producto de la mente humana, no del mundo, y que esas clasificaciones son, de todos modos, rasgos absolutamente estables de nuestra mente. Por ambas consideraciones, él puede estar en desacuerdo con ese nominalista. Él obviamente favorece la posibilidad de un cambio revolucionario, y nos proporciona ejemplos de ello. De

[4] T.S. Kuhn, "What Are Scientific Revolutions?", *Center for Cognitive Science Occasional Paper*, no. 18, Massachussets Institute of Technology, 1981, p. 25. [Versión en castellano: T.S. Kuhn, *Qué son las revoluciones científicas y otros ensayos*, trad. José Romo Feito, Paidós, Barcelona, 1989.]

igual modo, puede afirmar que muchas de nuestras categorías precientíficas *son* clases naturales: gente y pasto, carne y carne de caballo. El mundo simplemente tiene caballos y pasto, no importa qué pensemos nosotros, y cualquier esquema conceptual reconocerá esto. No hay razón para pensar que la historia de la ciencia deba negar que el mundo se clasifica a sí mismo de estas maneras. Tampoco hay mucha razón para suponer, en el estudio comparativo de las culturas, que otras personas no ordenen el mundo de manera similar. El nominalismo de Kuhn, en tanto que se fundamenta en sus estudios históricos, solamente podría enseñarnos que algunas de nuestras categorías científicas pueden ser desalojadas. Categorías largamente reverenciadas, como las de sustancia y fuerza, pueden sucumbir. El espacio y el tiempo pueden incluso recibir unos cuantos golpes. Kuhn sí enseña cierto relativismo, que no hay una categorización singularmente correcta de cualquier aspecto de la naturaleza. Efectivamente, la idea de un aspecto de la naturaleza, que comprende solamente tales y tales cosas, es a su vez una variable. Decimos que los griegos no tenían el concepto de la electricidad; Franklin no tenía el concepto de electricidad-y-magnetismo. Incluso tales "aspectos de la naturaleza" surgen, entran y salen a lo largo de nuestra historia. El nominalista revolucionario infiere que no hemos llegado al final del camino. La noción de un final del camino, o de una ciencia final, tampoco es una noción realmente comprensible.

El nominalista anticuado sostenía que nuestros sistemas de clasificación son productos de la mente humana. Pero no suponía que pudieran alterarse radicalmente. Kuhn ha cambiado todo eso. Las categorías han sido alteradas y pueden ser alteradas de nuevo. Difícilmente podremos evitar aproximarnos a la naturaleza con nuestras categorías, problemas, sistemas de análisis, métodos de tecnología y de aprendizaje presentes. De hecho somos realistas empíricos: pensamos como si de hecho estuviéramos usando clases naturales, verdaderos principios de ordenación. No obstante, en el curso de la reflexión histórica nos percatamos de que las investigaciones más preciadas pueden llegar a ser reemplazadas.

En resumen, la idea es la siguiente: investigamos la naturaleza como si estuviera ordenada en las clases naturales que emiten nuestras ciencias actuales, pero al mismo tiempo sostenemos que estos mismos esquemas constituyen sólo un suceso histórico. Es más, no hay un concepto de *la* representación correcta y última del mundo. Los comentarios de Putnam pueden inclinarnos en la misma dirección, pero hay un sentido en el que su formulación presente es más bien kantiana. Putnam se ha vuelto conservador. Para Kant no había ninguna posibilidad de salirnos de nuestro esquema conceptual. Putnam tampoco da razones para suponer que haya

alguna manera. Kuhn detalla maneras como han tenido lugar alteraciones profundas. Por lo tanto, el suyo es un nominalismo revolucionario trascendental, mientras que el de Putnam es más conservador.

LA RACIONALIDAD

Hay otra faceta de la posición actual de Putnam, con reminiscencias de Peirce. Él sostiene que lo verdadero es cualquier cosa en la que podamos alcanzar un acuerdo por medios racionales, y reconoce que puede al menos haber una evolución conforme desarrollemos más y más estilos de razonamiento. Me parece natural explicar esta idea no en términos de la filosofía de Putnam, sino más bien en términos de la de Imre Lakatos.

8

UN SUSTITUTO DE LA VERDAD

Imre Lakatos (1922–1974) caricaturizó la teoría de la ciencia de Kuhn llamándola "psicología de masas". Según Lakatos, con Kuhn desaparece el "método científico (o la 'lógica del descubrimiento'), concebido como la disciplina de la evaluación racional de las teorías científicas —y de los criterios del *progreso*. Desde luego, de todos modos podemos tratar de explicar los cambios en los 'paradigmas' desde el punto de vista de la psicología social. Éste es [...] el procedimiento de Kuhn" (I, p. 31).[1] Lakatos se opuso rotundamente a la reducción de la filosofía de la ciencia a la sociología, según él propuesta por Kuhn. Pensaba que no dejaba lugar para los sacrosantos valores científicos de objetividad, racionalidad y razón.

A pesar de que esto es una parodia de Kuhn, las ideas resultantes son importantes. Los dos temas de actualidad en la filosofía de la ciencia son uno epistemológico (la racionalidad) y otro metafísico (la verdad y la realidad). Lakatos *parece* hablar acerca del primero. De hecho, universalmente se considera que presenta una nueva teoría del método y de la razón, y unos lo admiran y otros lo critican en lo que a eso se refiere. Si esto es lo que Lakatos pretende, su teoría de la racionalidad es muy extraña. No nos ayuda para nada a la hora de decidir qué es razonable creer o hacer ahora. Está totalmente dirigida hacia atrás. Nos puede decir qué decisiones en la ciencia del pasado fueron racionales, pero no nos ayuda con el futuro. Cuando los ensayos de Lakatos tienen que ver con el futuro, son una mezcla de trivialidades y prejuicios. Aun así, los ensayos son convincentes. Por esta razón, sostengo que sus trabajos no son acerca del método y la racionalidad, sino acerca de algo diferente. Él es importante precisamente porque aborda no una cuestión epistemológica, sino una metafísica. Está preocupado con la verdad o su ausencia. Piensa que la ciencia es nuestro modelo de objetividad. Podemos tratar de explicar esto diciendo que una proposición científica debe decir cómo son las cosas. Debe corresponder a la verdad. Eso es lo

[1] Todas las referencias a Imre Lakatos en este capítulo remiten a su *Philosophical Papers*, 2 tomos, J. Worral y G. Currie (comps.), Cambridge, 1978.

que hace objetiva a la ciencia. Lakatos, educado en Hungría en una tradición hegeliana y marxista, daba como un hecho la demolición poskantiana y hegeliana de las teorías correspondentistas. Como Peirce, se formó en una matriz hegeliana, y como Peirce y otros pragmatistas, no le veía ninguna utilidad a lo que William James llamaba la teoría copista de la verdad.

Al principio del siglo veinte, varios filósofos de Inglaterra y luego de Estados Unidos denunciaron a Hegel y revivieron las teorías correspondentistas de la verdad y las teorías referenciales del significado. Éstos son todavía temas centrales de la filosofía anglosajona. Hilary Putnam es un buen ejemplo. En *Reason, Truth and History*, él hace su propio intento de acabar con las teorías correspondentistas. Putnam se considera a sí mismo muy radical, y escribe que "lo que aquí tenemos es la desaparición de una teoría que duró más de dos mil años" (p. 74). Lakatos y Peirce pensaban que la muerte en la familia había ocurrido cerca de doscientos años antes. Sin embargo, ambos querían encontrar una explicación de los valores objetivos de la ciencia occidental. Y de esta manera intentaron buscar un sustituto de la verdad. Siendo de tradición hegeliana, decían que este sustituto yace en el proceso, en la naturaleza del crecimiento del conocimiento mismo.

HISTORIA DE LAS METODOLOGÍAS

Lakatos presentó su filosofía de la ciencia como el resultado de una sucesión histórica de filosofías. Esta secuencia incluye lo que más se sabe acerca de Popper, Carnap, Kuhn, acerca de la revolución y la racionalidad, que ya ha sido descrito en la introducción. Pero tiene un alcance mayor y es mucho más estilizada. A continuación presentaré esta historia. Muchas de sus aseveraciones periféricas estaban de moda entre los filósofos de la ciencia en 1965. Se trata de opiniones simplistas tales como: no hay una distinción, en principio, entre la exposición de una teoría y los resultados de la observación; no hay experimentos cruciales, ya que sólo en retrospectiva calificamos de crucial a un experimento; siempre se pueden inventar hipótesis auxiliares verosímiles que preservarán una teoría; nunca es razonable abandonar una teoría si no se tiene otra mejor para reemplazarla. Lakatos no da ningún buen argumento, ni siquiera uno detallado, en favor de estas proposiciones. La mayoría de ellas son consecuencia de una filosofía atada a la teoría y más vale corregirlas o refutarlas reflexionando seriamente sobre la experimentación. Hago una evaluación de ellas en la parte B, donde hablo sobre la intervención. En el capítulo 15, hablo acerca de los experimentos

cruciales y las hipótesis auxiliares; en el capítulo 10, sobre las distinciones entre observación y teoría.

EL MODELO EUCLIDIANO Y EL INDUCTIVISMO

Al principio, nos dice Lakatos, la demostración matemática era el modelo de la ciencia verdadera. Las conclusiones tenían que demostrarse y hacerse absolutamente ciertas. Cualquier cosa que no alcanzara la certeza total era defectuosa. La ciencia era por definición infalible.

El siglo XVII y el método experimental del razonamiento hicieron que esto pareciera una meta imposible. Aun así, la historia sólo se modifica cuando pasamos de la deducción a la inducción. Si no podemos tener un conocimiento seguro, tengamos por lo menos un conocimiento probable basado en fundamentos firmes. Las observaciones hechas correctamente deberían servir de base. Generalizaremos sobre la base de experimentos confiables, haremos analogías, y así sucesivamente, hasta llegar a conclusiones científicas. Mientras mayor sea la variedad y la cantidad de observaciones que confirmen una conclusión, más probable será. Ya no tendremos certeza, pero tendremos alta probabilidad.

Así, los dos estadios en el camino real a la metodología son la demostración y la probabilidad. Hume, conociendo de la falla del primero, ya pone en duda el segundo en 1739. Los hechos particulares de ninguna manera pueden proporcionar "buenas razones" para enunciados más generales o creencias acerca del futuro. Popper estaba de acuerdo, y Lakatos también.

LOS FALSACIONISMOS

Lakatos trunca algunas historias de la metodología pero amplía otras. Incluso tuvo a un Popper_1, un Popper_2 y un Popper_3 que denotaban versiones cada vez más complejas de lo que había aprendido de Popper. Los tres recalcan la puesta a prueba y la falsación de las conjeturas, no su verificación o confirmación. La idea más simple sería: "la gente propone y la naturaleza dispone". Esto es, nosotros ideamos una teoría y la naturaleza la tira a la basura si está equivocada. Esto implica una distinción bien marcada entre teorías falibles y observaciones básicas de la naturaleza. Estas últimas, una vez confirmadas, son veredicto final e inapelable. Una teoría que es inconsistente con una observación debe rechazarse.

Esta historia de la conjetura y la refutación nos hace pensar en una ciencia placenteramente objetiva y honesta. Pero esto no funcionará. En primer lugar, porque "todas las teorías nacen refutadas", o por lo menos es muy común que se proponga una teoría aun cuando se sepa que no se adecua a todos los hechos conocidos. Eso es lo que Kuhn plantea acerca de la ciencia normal como resolución de acertijos. En segundo lugar (según Lakatos), no hay una firme distinción entre teoría y observación. En tercer lugar, está una afirmación del gran historiador francés de la ciencia Pierre Duhem. Él observaba que las teorías se someten a prueba a través de las hipótesis auxiliares. Según su ejemplo, si un astrónomo predice que un cuerpo celeste se ha de encontrar en cierta posición pero resulta que se encuentra en otra, no necesita corregir toda su astronomía. Podría tal vez corregir la teoría del telescopio (o producir hipótesis adecuadas acerca de cómo los fenómenos difieren de la realidad (Kepler), o inventar una teoría de la aberración astronómica (G.G. Stokes), o sugerir que el efecto Doppler funciona de manera diferente en el espacio exterior). Por lo tanto, una observación recalcitrante no necesariamente refuta una teoría. Duhem probablemente pensaba que es un asunto de elección o convención si una teoría o una de sus hipótesis auxiliares debe corregirse. Duhem era un antirrealista destacado, así que tal conclusión era atractiva. Es repugnante para los acérrimos instintos en favor del realismo científico que encontramos en Popper y en Lakatos.

De manera que el falsacionista agrega dos alegatos. En primer lugar, ninguna teoría se rechaza o se abandona a menos que exista una mejor teoría rival. En segundo lugar, una teoría es mejor que otra si hace predicciones más novedosas. Tradicionalmente, las teorías debían ser consistentes con los elementos de prueba. El falsacionista, nos dice Lakatos, no exige que la teoría sea consistente con los elementos de prueba, sino que de hecho vaya más allá de ellos.

Nótese que este último punto es el foco de una larga controversia. Por lo general, los inductivistas piensan que los elementos de prueba consistentes con una teoría la apoyan, independientemente de si la teoría precedió a los elementos de prueba o los elementos de prueba precedieron a la teoría. Pensadores más racionalistas y más inclinados a la deducción insisten en lo que Lakatos llama "el requisito de Leibniz-Whewell-Popper de que *la construcción cuidadosamente planeada de las casillas proceda mucho más rápidamente que el registro de los hechos que van a ocuparlas*" (I, p. 100).

LOS PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN

Distingamos entre "proyecto de investigación" y "programa de investigación". Con el primero se denotará lo que los investigadores llaman normalmente un proyecto de investigación, a saber, una manera específica de enfocar un problema utilizando alguna combinación bien definida de ideas teóricas y experimentales. Un proyecto de investigación lo lleva a cabo una persona o un grupo de personas, solicitan fondos para él, obtienen ayuda a partir de él, etcétera. Un programa de investigación es algo diferente. Es más abstracto, más histórico. Es una sucesión de teorías que podrían perdurar siglos, y que podrían caer en el olvido durante 80 años para ser revividas más tarde por una infusión completamente fresca de hechos o ideas.

En casos particulares es fácil, por lo general, reconocer un continuo de teorías en desarrollo. Es menos fácil formular una caracterización general. Lakatos introduce la palabra "heurístico" para ayudar. Ahora "heurístico" es un adjetivo que describe un método o proceso que guía el descubrimiento o la investigación. Desde los comienzos de la "inteligencia artificial" en los años cincuenta, la gente hablaba de procedimientos heurísticos que ayudarían a las máquinas a resolver problemas. En *How to Solve It* y en otros libros maravillosos, el matemático Georg Polya, compatriota y maestro de Lakatos, ofreció ejemplos modernos clásicos de heurística matemática. El trabajo de Lakatos en la filosofía de las matemáticas le debía mucho a Polya. Posteriormente, Lakatos adaptó la idea de heurística como clave para identificar los programas de investigación. Él sostiene que un programa de investigación se define por su heurística positiva y negativa. La heurística negativa dice: manos fuera de aquí, no te entrometas. La heurística positiva dice: aquí hay un conjunto de áreas problemáticas clasificadas por orden de importancia; preocúpense sólo de los temas que se encuentran hasta arriba de la lista.

EL NÚCLEO DURO Y LOS CINTURONES PROTECTORES

La heurística negativa es el "núcleo duro" de un programa, un grupo de principios centrales que nunca se deben desafiar. Se consideran irrefutables. Así, en el programa newtoniano tenemos en el núcleo las tres leyes de la dinámica y la ley de la gravitación. Si los planetas se portan mal, un newtoniano no va a corregir la ley de la gravitación, sino que tratará de explicar la anomalía postulando un planeta posiblemente invisible, un planeta

que, de ser necesario, sólo podrá detectarse por medio de sus perturbaciones en el sistema solar.

La heurística positiva es una agenda que determina los problemas en los que deberá trabajarse. Lakatos se imagina un programa de investigación saludable nadando decididamente en un mar de anomalías, pero sin dejar de ser exuberante. Según él, la opinión de Kuhn sobre la ciencia normal hace casi azaroso cuáles anomalías se convierten en objeto de la resolución de acertijos. Lakatos dice, por el contrario, que hay una jerarquización de los problemas. Unos cuantos se escogen sistemáticamente para la investigación. Esta selección genera un "cinturón protector" alrededor de la teoría, pues uno sólo se ocupa de los problemas previamente ordenados. Otras refutaciones aparentes se ignoran simplemente. Lakatos usa esto para explicar por qué, con el perdón de Popper, la verificación parece ser importante en la ciencia. La gente escoge algunos problemas para trabajar en ellos, y se siente justificada por una solución; las refutaciones, por su parte, pueden no ser interesantes.

EL PROGRESO Y LA DEGENERACIÓN

¿Qué es lo que hace que un programa de investigación sea bueno o malo? Los buenos son progresivos, los malos están en proceso de degeneración. Un programa será una sucesión de teorías $T_1, T_2, T_3 \ldots$ Cada teoría debe ser por lo menos tan consistente con los hechos conocidos como su predecesora. La sucesión es teóricamente progresiva si cada teoría predice algunos hechos novedosos no previstos por sus predecesoras. Es empíricamente progresiva si algunas de esas predicciones resultan. Un programa es *progresivo* a secas si es teórica y empíricamente progresivo. De otra manera está *degenerándose*.

El programa en degeneración gradualmente se encierra en sí mismo. He aquí un ejemplo.[2] Una de las famosas historias acerca del éxito en la ciencia es la de Pasteur, cuyo trabajo sobre microbios le permitió salvar la cerveza francesa, el vino y la industria de la seda que estaban amenazadas por varios pequeños organismos hostiles. Después empezamos a pasteurizar la leche. Pasteur también identificó a los microorganismos que le permitieron encontrar una vacuna contra el ántrax y la rabia. Esto llevó al desarrollo de un programa de investigación cuyo núcleo duro sostenía que todo

[2] K. Codell Carter, "The Germ Theory, Beri-Beri, and the Deficiency Theory of Disease", *Medical History*, no. 21, 1977, pp. 119–136.

daño orgánico que hasta la fecha no fuera explicable en términos de parásitos o de órganos lesionados era explicable en términos de microorganismos. Cuando se descubrió que muchas enfermedades no eran causadas por bacterias, la heurística positiva dirigió la búsqueda hacia algo más pequeño, el virus. Este programa de investigación progresivo tenía subprogramas de investigación en degeneración. Tal fue el entusiasmo por los microbios que lo que ahora llamamos enfermedades carenciales *tenían* que ser causadas por bichos. A principios de este siglo, la máxima autoridad en enfermedades tropicales, Patrick Manson, insistía en que el beriberi y algunas otras enfermedades carenciales eran causadas por contagio bacteriano. Los nuevos procesos de limpieza del arroz con vapor, importados de Europa, causaron una epidemia de beriberi que mató a millones de chinos y de indonesios para quienes el arroz era la comida básica. La vitamina B_1 de la cáscara del arroz se destruía con la limpieza. En gran medida gracias a experimentos dietéticos llevados a cabo en la marina japonesa, la gente se empezó a dar cuenta gradualmente de que con el arroz descascarillado el problema no era la presencia de microbios, sino algo que faltaba en él. Cuando todo lo demás falló, Manson insistió en que hay bacterias que viven y mueren en el arroz descascarillado pero no en el arroz con cáscara, y éstas son la causa del problema. Este paso fue teóricamente degenerativo porque cada modificación en la teoría de Manson vino sólo después de nuevas observaciones, no antes, y era empíricamente degenerativo porque no se encuentran tales organismos en el arroz descascarillado.

EN RETROSPECTIVA

No se puede saber con anticipación si un programa de investigación es progresivo. Consideremos el espléndido problema de la modificación del programa de Pasteur, en el que los virus reemplazan a las bacterias como la fuente de la mayoría de los males que persisten en el mundo desarrollado. En los años sesenta surgió la especulación de que los cánceres —carcinomas y linfomas— eran causados por virus. Se han registrado algunos éxitos extremadamente raros. Por ejemplo, un linfoma tropical extraño y horrible (el linfoma de Burkitt) que causa inflamaciones grotescas en las extremidades de gente que vive a una altitud de 1 500 metros en el ecuador, es casi seguramente causado por un virus. Pero ¿qué podemos decir del programa de investigación general del virus del cáncer? Lakatos nos dice que "debemos tomar con indulgencia los programas en ciernes; los programas pueden requerir décadas antes de despegar y convertirse en

empíricamente progresivos" (I, p. 6). Muy bien, pero aun cuando hayan sido progresivos en el pasado —qué mejor ejemplo que el programa de Pasteur— esto no nos dice nada, excepto: "No seamos dogmáticos; si estamos estancados, emprendamos numerosos tipos distintos de investigación." No solamente no nos ayuda a escoger entre programas que no hayan sido ensayados antes. Sabemos de pocos programas más progresivos que el de Pasteur, aunque algunas de sus fallas sólo se hicieran patentes en programas de investigación, por ejemplo en la teoría de las enfermedades carenciales. ¿Son los intentos por encontrar virus del cáncer progresivos o degenerativos? Sólo lo sabremos más tarde. Si estuviéramos tratando de decidir qué proporción de la "guerra contra el cáncer" debiera destinarse a la biología molecular y qué proporción a los virus (que no necesariamente se excluyen mutuamente, por supuesto), Lakatos no podría decirnos nada.

LA OBJETIVIDAD Y EL SUBJETIVISMO

¿Entonces qué estaba haciendo Lakatos? El título de este capítulo sugiere mi conjetura. Quería encontrar un sustituto para la idea de la verdad. Esto se parece un poco a la sugerencia posterior de Putnam según la cual la teoría correspondentista de la verdad está equivocada, y la verdad es aquello que sea racional creer. Pero Lakatos es más radical que Putnam. Lakatos no es un pragmatista redivivo. Está en contra de la verdad, no sólo de una teoría particular de la verdad. No quiere un sustituto de la teoría correspondentista, sino un sustituto de la verdad misma. Putnam tiene que alejarse de una teoría correspondentista de la verdad porque, en la filosofía anglosajona, a pesar del viejo asalto de los pragmatistas, las teorías correspondentistas todavía son populares. A Lakatos, educado en la tradición hegeliana, casi nunca se le ocurre pensar en la teoría correspondentista. Sin embargo, como Peirce, él valora en la ciencia una objetividad que no es importante en el discurso hegeliano. Putnam le hace honor a esta valoración en tanto que tiene la esperanza, como Peirce, de que hay un método científico sobre el cual llegaremos a ponernos de acuerdo, y que a su vez nos llevará a un acuerdo, a la creencia racional garantizada. Putnam es un simple peirciano, si bien tiene menos confianza que Peirce en que ya estemos en la recta final. La racionalidad mira hacia adelante. Lakatos fue un paso más allá. No hay racionalidad que mire hacia adelante, pero podemos comprender la objetividad de nuestras creencias presentes reconstruyendo la manera como llegamos aquí. ¿Por dónde comenzar? Por el aumento del conocimiento mismo.

EL AUMENTO DEL CONOCIMIENTO

La única idea establecida del empeño de Lakatos es el simple hecho de que el conocimiento sí aumenta. Sobre esto trata de edificar su filosofía sin representación, a partir del hecho de que podemos ver que el conocimiento aumenta independientemente de lo que pensemos acerca de la "verdad" o la "realidad". Debemos observar tres aspectos relacionados con este hecho.

En primer lugar, uno puede ver desde un primer examen que el conocimiento ha aumentado. Ésta no es una lección de la filosofía general o de la historia, sino de la mera lectura detallada de secuencias específicas de textos. No hay duda de que hoy se sabe más de lo que los grandes genios del pasado comprendieron. Tomemos un ejemplo del propio Lakatos. Es obvio que después del trabajo de Rutherford y Soddy y del descubrimiento de los isótopos, se supo muchísimo más acerca de los pesos atómicos de lo que había soñado un siglo de estudiosos, después de que Prout propusiera en 1850 la hipótesis de que el hidrógeno es el elemento básico del universo y los pesos atómicos son múltiplos enteros del peso atómico del hidrógeno. Digo esto para recordar que Lakatos tiene un punto de partida profundo pero elemental. Ese punto de partida no es que hay conocimiento, sino que hay aumento: sabemos más acerca de los pesos atómicos que lo que alguna vez supimos, aun cuando el futuro nos lleve a reconceptualizaciones completamente nuevas expandidas de esos dominios.

En segundo lugar, no puede *discutirse* que algunos sucesos históricos muestran el aumento del conocimiento. Lo que se necesita es un *análisis* que nos diga en qué consiste este aumento, y que nos diga cuál es el aumento al que llamamos ciencia y cuál no lo es. Tal vez haya locos que piensen que el descubrimiento de los isótopos no es un verdadero aumento del conocimiento. La actitud de Lakatos es no refutarlos; probablemente sean holgazanes que nunca han leído los textos ni han tomado parte en los resultados experimentales de tal aumento. No deberíamos discutir con esos incultos. Cuando hayan aprendido cómo usar isótopos, o simplemente hayan leído los textos, descubrirán que el conocimiento sí aumenta.

Este pensamiento lleva al tercer punto. El aumento del conocimiento científico, dado un análisis inteligente, podría proporcionar una demarcación entre la actividad racional y el irracionalismo. A pesar de que Lakatos expresó los asuntos de esta manera, no es la manera adecuada de decir las cosas. Nada ha crecido más consistente y persistentemente a través de los años que los comentarios sobre el Talmud. ¿Es ésa una empresa racional? Vemos inmediatamente cuán vacía resulta la palabra "racional" si la queremos utilizar para evaluaciones positivas. Los comentarios son el cuerpo de

textos más razonado que conocemos, mucho más razonado que la literatura científica. Los filósofos se plantean a veces la pregunta tediosa de por qué la astrología occidental del siglo xx, tal como es, no es ciencia. Pero no es aquí en donde reside el difícil problema de la demarcación. Popper fue en busca de presas mayores cuando cuestionó el derecho del psicoanálisis y de la historiografía marxista a considerarse "ciencias". La maquinaria de los programas de investigación, núcleos duros y cinturones protectores, progreso y degeneración, debe, si en algo vale, llevarnos a una distinción, no entre lo racional y el razonamiento y lo irracional y el no razonamiento, sino entre los razonamientos que llevan a lo que Popper y Lakatos llaman conocimiento objetivo y los que persiguen fines diferentes y que tienen trayectorias intelectuales diferentes.

EVALUACIÓN DE LAS TEORÍAS CIENTÍFICAS

Así que Lakatos no ofrece ninguna manera de hacer aseveraciones sobre el futuro de las teorías del presente. A lo mucho, puede hacer ver hacia atrás y decir por qué, de acuerdo con su criterio, este programa de investigación era progresivo y por qué este otro no lo era. Con relación al futuro muy pocos indicadores pueden derivarse de su "metodología". Dice que deberíamos ser modestos en las esperanzas que ponemos en nuestros proyectos porque los programas rivales pueden terminar por tener la última palabra. Hay lugar para la testarudez cuando nuestro programa atraviesa un mal momento. Los lemas son la proliferación de teorías, la indulgencia en la evaluación y un esfuerzo honesto por llevar un registro de los programas que producen resultados y encaran nuevos desafíos. Estos lemas no son metodología propiamente dicha, sino más bien una lista de los supuestos valores de una ciencia supuestamente libre de ideologías.

Si Lakatos estuviera interesado en el problema de la evaluación de teorías, entonces yo tendría que estar de acuerdo con su crítico más pintoresco, Paul Feyerabend. El tema principal de las críticas a Lakatos en el capítulo 17 de su libro *Contra el método*, es que la "metodología" de Lakatos no sirve para asesorar el trabajo científico actual. Estoy de acuerdo, pero supongamos que esto nunca fue el objetivo de su análisis, que, como sostengo, era más radical. Lakatos era mordaz, tenía opiniones fuertes y no poca seguridad en sí mismo. Hizo muchas observaciones amenas sobre diferentes proyectos de investigación, pero estos comentarios cáusticos eran incidentales en la filosofía que yo le atribuyo, e independientes de ella.

¿Es un defecto de la metodología de Lakatos que sólo sea retroactiva? No lo creo. No hay leyes generales significativas acerca de a qué parte actual de una investigación se le presagia un buen futuro. Sólo hay perogrulladas. Un grupo de investigadores que haya tenido una buena idea a menudo dedica por lo menos algunos años más aplicándola fructíferamente. Tales grupos obtienen debidamente bastante dinero de corporaciones, gobiernos y fundaciones. Hay otras inducciones sociológicas débiles, por ejemplo: cuando un grupo está cada vez más preocupado por defenderse de las críticas y no se atreve a pisar terreno nuevo, entonces muy rara vez produce nuevas investigaciones interesantes. Tal vez el problema práctico principal pase desapercibido por los filósofos de la racionalidad. ¿Cómo dejar de apoyar un programa que se ha apoyado durante cinco o quince años —un programa al que muchos jóvenes han dedicado sus carreras— y que está generando pocos resultados? Esa crisis de la vida real tiene poco que ver con la filosofía.

Ahora está de moda entre los filósofos de la ciencia lo que Lakatos hubiera podido llamar el "nuevo justificacionismo". Produce libros enteros tratando de mostrar cómo se puede generar un sistema para la evaluación de teorías a partir de reglas generales. Incluso se sugiere que los gobiernos deberían dar fondos a trabajos de la filosofía de la ciencia, para decidir cómo y cuándo apoyar proyectos de investigación de la ciencia verdadera. No debemos confundir estas criaturas de la burocracia con los intentos de Lakatos por entender el contenido del juicio objetivo.

LA HISTORIA INTERNA Y LA HISTORIA EXTERNA

La herramienta de Lakatos para entender la objetividad es algo a lo que él llamaba historia. Los historiadores de la ciencia, incluso aquellos dados a los grandes vuelos de la imaginación especulativa, encuentran en Lakatos sólo "una parodia histórica que pone los pelos de punta". Así caracteriza Gerald Holton la historia de Lakatos en *The Scientific Imagination* (p. 106); muchos colegas están de acuerdo.

Lakatos principia con una "nueva demarcación no ortodoxa entre 'historia externa' e 'historia interna' "(I, p. 102), pero no está muy claro qué es lo que ocurre. La historia externa, por lo general, trata de los factores económicos, sociales y tecnológicos que no están directamente implicados en el contenido de la ciencia, pero que se considera que influyen o explican algunos sucesos de la historia del conocimiento. La historia externa puede incluir un suceso como el primer satélite soviético que se puso en órbita —el

Sputnik— y que fue seguido por la inversión instantánea de vastas sumas de dinero estadounidense en la educación científica. La historia interna es por lo general la historia de las ideas que guardan relación con la ciencia, y se preocupa de las motivaciones de los investigadores, sus patrones de comunicación y las líneas de afiliación intelectual: quién aprendió qué de quién.

La historia interna de Lakatos ha de ser un extremo de ese espectro. Ha de excluir cualquier cosa del dominio subjetivo o personal. Lo que la gente creyó no es pertinente: ha de ser la historia de algún tipo de abstracción. Dicho brevemente, ha de ser la historia del conocimiento enajenado hegeliano, la historia de los programas de investigación anónimos y autónomos.

Esta idea acerca del aumento del conocimiento para convertirse en algo objetivo y no humano se vislumbraba ya en el primer trabajo filosófico de Lakatos, *Proofs and Refutations*. En la p. 146 de este maravilloso diálogo sobre la naturaleza de las matemáticas encontramos lo siguiente:

> La actividad matemática es actividad humana. Algunos aspectos de esa actividad —como de toda actividad humana— pueden ser estudiados por la psicología, otros por la historia. La heurística no está principalmente interesada en estos aspectos. Pero la actividad matemática produce matemáticas. Las matemáticas, ese producto de la actividad humana, "se enajenan" de la actividad humana que las ha estado produciendo. Se vuelven un organismo viviente en crecimiento que adquiere cierta autonomía de la actividad que lo produjo.

Aquí está, pues, la semilla de la redefinición de Lakatos de la "historia interna", la doctrina que subyace en sus "reconstrucciones racionales". Una de las lecciones de *Proofs and Refutations* es que las matemáticas pueden ser a la vez el producto de la actividad humana y autónomas, con su propia caracterización interna de la objetividad que puede analizarse desde el punto de vista de cómo ha aumentado el conocimiento matemático. Popper ha sugerido que tal conocimiento objetivo podría ser un "tercer mundo" de la realidad, y Lakatos le daba vueltas a esta idea.

La metáfora de Popper de un tercer mundo es enigmática. En la definición de Lakatos, "el 'primer mundo' es el mundo físico; el 'segundo mundo' es el mundo de la conciencia, de los estados mentales y, en particular, de las creencias; el 'tercer mundo' es el mundo platónico del espíritu objetivo, el mundo de las ideas" (II, p. 108). Yo prefiero los textos de Popper en los que dice que el tercer mundo es el mundo de los libros y las revistas almacenados en las bibliotecas, de los diagramas, de las tablas y memorias de las computadoras. Estas cosas extrahumanas, oraciones pronunciadas,

son más reales que cualquier cosa que lo que hablar de Platón pudiera sugerir.

Formulado como una lista de tres mundos tenemos un misterio. Formulado como la sucesión de tres tipos de entidades que van surgiendo con sus leyes correspondientes es menos enigmático. Primero teníamos un mundo físico. Luego, cuando seres sensibles y reflexivos surgieron del mundo físico, hubo un segundo mundo cuyas descripciones no podían reducirse de ninguna manera general a descripciones del mundo físico. El tercer mundo de Popper es más conjetural. Su idea es que hay un dominio del conocimiento humano (oraciones, ejemplares impresos, grabaciones) que está sujeto a sus propias descripciones y leyes y que no puede reducirse a sucesos del segundo mundo (tipo por tipo), así como los sucesos del segundo no pueden reducirse a los del primero. Lakatos persiste en la expresión metafórica de esa idea: "Los *productos* del conocimiento humano; las proposiciones, las teorías, los sistemas de teorías, los problemas, los cambios de problemas, los programas de investigación viven y crecen en el 'tercer mundo'; los productores del conocimiento viven en el primero y segundo mundos" (II, p. 108). No hay que ser tan metafórico. Es una pregunta difícil pero directa la de si hay o no un cuerpo extenso y coherente de descripción de un conocimiento humano "alienado" y autónomo que no pueda reducirse a historias y psicologías de creencias subjetivas. Una versión sustanciada de una teoría de un "tercer mundo" puede proporcionarnos sólo el dominio para el contenido de las matemáticas. Admite que las matemáticas son producto de la mente humana, y aun así también son independientes de todo lo que es peculiar a la psicología. Una extensión de este tema la proporciona la concepción de Lakatos de la historia interna "no psicológica".

La historia interna consiste en una construcción racional de lo que realmente sucedió, que muestra por qué lo que sucedió en muchos de los incidentes más célebres de la historia de la ciencia es digno de designarse como "racional" y "objetivo". Lakatos tiene una máxima que suena bien, una parodia de una de las nobles expresiones de Kant: "La filosofía de la ciencia sin la historia de la ciencia está vacía; la historia de la ciencia sin la filosofía de la ciencia es ciega." Suena bien, pero Kant había hablado de algo diferente. Todo lo que tiene que decirse acerca de la historia irreflexiva de la ciencia lo dijo francamente el mismo Kant en sus escritos sobre la *Lógica*: "La mera polihistoria es una erudición de cíclope al que le falta un ojo, el ojo de la filosofía." Lakatos quiere reescribir la historia de la ciencia de tal manera que los "mejores" incidentes de la historia de la ciencia sean ejemplos de programas de investigación progresivos.

LA RECONSTRUCCIÓN RACIONAL

Lakatos tiene un problema: caracterizar el aumento del conocimiento internamente por medio de un análisis de ejemplos de tal aumento. Hay una conjetura, que la unidad del crecimiento es el programa de investigación (definido por el núcleo duro, el cinturón protector, la heurística) y que los programas de investigación son progresivos o están en proceso de degeneración, y finalmente, que el conocimiento aumenta por el triunfo de los programas progresivos por encima de los que están en proceso de degeneración. Para poner a prueba esta suposición seleccionamos un ejemplo que debe ilustrar *prima facie* algo que los científicos han descubierto. El ejemplo debería pues ser admirado por los científicos, o por la gente que piensa acerca de la rama apropiada del conocimiento, no porque estemos ligados a la ortodoxia, sino porque la gente que trabaja en un dominio en particular tiende a tener una mejor idea que los legos de lo que es importante. Feyerabend llama a esta actitud elitismo. ¿Lo es? El otro mandamiento de Lakatos es que nos pongamos a leer todos los textos que podamos encontrar que abarquen una época completa en la que se desarrolle el programa de investigación, así como a todos los practicantes del programa. Sí, esto es elitismo porque pocos pueden darse tiempo para leer. Pero tiene una premisa intelectual antielitista (en contraposición a una premisa económica elitista): que si los textos están disponibles, cualquiera puede leerlos.

De entre lo que leemos debemos seleccionar la clase de oraciones que expresan lo que los trabajadores de la época en cuestión trataban de encontrar, y cómo trataban de encontrarlo. Desechemos lo que la gente sentía al respecto, los momentos de creatividad, incluso su motivación o sus modelos de conducta. Después de ponernos de acuerdo en restringirnos a esta parte "interna" de los datos, podemos intentar organizar el resultado en una historia de los programas de investigación lakatonianos.

Como en la mayoría de las indagaciones, no debe esperarse un ajuste inmediato entre la conjetura y los datos articulados. Tres tipos de revisiones pueden mejorar el ajuste entre la conjetura y los datos seleccionados. En primer lugar, podemos ocuparnos con el análisis de los datos; en segundo lugar, podemos revisar la conjetura, y en tercer lugar, podemos concluir que nuestro estudio de caso seleccionado no ejemplifica el crecimiento del conocimiento. Discutiré estos tres tipos de revisiones en orden.

Cuando hablo de mejorar el análisis no me refiero a mentir. Lakatos hizo una serie de comentarios tontos en su trabajo sobre la "falsación": en el texto sostiene que algo es un hecho histórico, pero se retracta en las notas a pie de página, recomendándonos que aceptemos el texto con mucha precaución

(I, p. 55). El historiador tiene razón en irritarse de que se le tome el pelo de esa manera. Eso no servía de nada. La pequeña broma de Lakatos no fue hecha en el curso de una reconstrucción racional, a pesar de que él así lo aseguraba. Como en toda indagación, no hay nada malo en tratar de volver a analizar los datos. Esto no quiere decir mentir. Simplemente quiere decir reconsiderar o seleccionar y arreglar los hechos, o puede tratarse de imponer un nuevo programa de investigación a los hechos históricos conocidos.

Si los datos y la conjetura lakatoniana no pueden reconciliarse, quedan dos opciones. En primer lugar, la historia del caso puede considerarse como algo diferente del crecimiento del conocimiento. Esta opción podría fácilmente alejar a los monstruos, pero allí es donde entra la restricción de la historia externa. Lakatos siempre puede decir que un incidente en particular en la historia de la ciencia no se ajusta a su modelo porque es "irracional", pero impone el requisito de que esto sólo se permite si podemos decir en qué consiste este elemento irracional. Los elementos externos pueden ser presiones políticas, valores corruptos o, tal vez, simple estupidez. Las historias de Lakatos son normativas porque se puede concluir que un trozo dado de investigación "no debió haberse desarrollado" de la manera como se hizo, y que esto sucedió debido a la interferencia de factores externos ajenos al programa. Cuando se concluye que un programa elegido no es "racional" es posible que se vaya contra la sabiduría científica actual. Pero si bien, en principio, Lakatos puede aceptar esto, está inclinado a respetar las evaluaciones implícitas de los científicos en acción. No me imagino a Lakatos aceptando que Einstein, Bohr, Lavoisier o incluso Copérnico, participaban en un programa irracional. "Gran parte de la historia de la ciencia" se volvería entonces "irracional" (I, p. 172). No tenemos criterios a los cuales acudir en el programa de Lakatos más allá de la historia del conocimiento tal y como ha sido. Declarar que ese conocimiento es globalmente irracional significa abandonar la racionalidad. Vemos por qué Feyerabend hablaba del elitismo de Lakatos. La racionalidad se define simplemente desde el punto de vista de lo que una comunidad en el presente considera correcto, y nada puede servir de contrapeso al peso extraterrestre de un Einstein.

Lakatos, pues, define la objetividad y la racionalidad en términos de programas de investigación progresivos, y permite que un incidente en la historia de la ciencia sea objetivo y racional si su historia interna puede escribirse como una sucesión de cambios progresivos de problemas.

CATACLISMOS EN EL RAZONAMIENTO

Peirce definía la verdad como aquello que se alcanza al final, el ideal de la investigación científica. Pensaba que la tarea de la metodología era caracterizar los principios de la investigación. Hay un problema obvio: ¿Qué sucede si la investigación no converge en nada? Peirce, tan familiarizado en su tiempo con discusiones sobre las revoluciones científicas como nosotros en el nuestro, estaba convencido de que los "cataclismos" en el conocimiento (como él los llamaba) no han sido reemplazados por otros, sino que todo es parte del mismo carácter autocorrectivo de la investigación. Lakatos tiene una actitud similar a la de Peirce. Estaba decidido a refutar la doctrina que le atribuía a Kuhn según la cual el conocimiento cambia por "conversiones" irracionales de un paradigma a otro.

Como dije en la introducción, no creo que una lectura correcta de Kuhn tenga el aire apocalíptico de relativismo cultural que Lakatos cree encontrar. Hay sin embargo una preocupación realmente importante detrás de la antipatía de Lakatos por el trabajo de Kuhn, y no debemos pasarla por alto. Está relacionada con un breve comentario importante de Feyerabend, que las teorías de Lakatos acerca de la racionalidad científica, en el mejor de los casos, encajan con los grandes logros "de los últimos dos o tres siglos".

Un cuerpo de conocimiento puede romper con el pasado de dos maneras distinguibles. Ahora ya estamos familiarizados con la posibilidad de que nuevas teorías reemplacen completamente la organización conceptual de sus predecesoras. La historia de Lakatos de programas progresivos y en proceso de degeneración es un buen comienzo para decidir cuándo son "racionales" tales reemplazos. Pero todo el razonamiento de Lakatos da por sentado lo que podemos llamar el modelo hipotético deductivo del razonamiento. A pesar de todas sus correcciones a Popper, sigue dando por sentado que las conjeturas se hacen y se ponen a prueba cotejándolas con problemas del cinturón protector. Una fractura mucho más radical en el conocimiento ocurre cuando surge un estilo totalmente nuevo de razonamiento. La fuerza de la burla de Feyerabend acerca de los "últimos dos o tres siglos" es que el análisis de Lakatos es pertinente no con respecto a un conocimiento atemporal y una razón atemporal, sino con respecto a un tipo particular de conocimiento producido por un estilo particular de razonamiento. Ese conocimiento y ese estilo tienen un comienzo específico. Así, el miedo peirciano al cataclismo se convierte en: ¿No podría haber otros estilos de razonamiento que produzcan un nuevo tipo de conocimiento? ¿No es el sustituto de la verdad de Lakatos un fenómeno reciente y local?

Estoy formulando una preocupación, no un argumento. Feyerabend formula tesis sensacionales pero inverosímiles acerca de los diferentes modos de razonamiento e incluso de mirar hacia el pasado arcaico. De manera más burda, mi libro *El surgimiento de la probabilidad* (1975) sostiene que parte de nuestra concepción actual de los elementos de prueba inductivos apareció apenas hacia fines del Renacimiento. En su libro *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition* (1983), el historiador A.C. Crombie, de quien tomo la palabra "estilo", escribe acerca de seis estilos distinguibles. He estudiado la idea de Crombie en otra parte. Ahora bien, no se sigue, sin embargo, que el surgimiento de un nuevo estilo de pensamiento sea un cataclismo. Podemos agregar un estilo a otro, con un cuerpo acumulativo de herramientas conceptuales. Eso es lo que nos enseña Crombie. Por supuesto, tanto Putnam como Laudan piensan que así debe ser. Pero éstos son asuntos que apenas se han abordado recientemente y que se han interpretado de maneras enteramente equivocadas. Deberían volvernos reacios hacia una teoría de la realidad y de la objetividad que parta de la suposición del aumento del conocimiento, cuando el tipo de aumento descrito se refiere a un conocimiento alcanzado a través de un estilo particular de razonamiento.

Para empeorar las cosas, sospecho que un estilo de razonamiento puede determinar la naturaleza misma del conocimiento que produce. El método de los griegos basado en postulados dio como resultado una geometría que durante mucho tiempo le sirvió al filósofo como modelo de conocimiento. Lakatos está contra la dominación del modo euclidiano. ¿Qué Lakatos del futuro va a estar en contra del modo hipotético deductivo y la teoría de programas de investigación a la que dio lugar? Una de las características más peculiares de este modo es la postulación de entidades teóricas que aparecen en las leyes de alto nivel, pero que tienen, no obstante, consecuencias experimentales. Esta característica de la ciencia exitosa se vuelve endémica hasta fines del siglo XVIII. ¿Es acaso posible que las preguntas acerca de la objetividad que Kant formuló para nuestro tiempo sean precisamente las preguntas correspondientes a este nuevo conocimiento? De ser así, es totalmente adecuado que Lakatos trate de responderlas desde el punto de vista del conocimiento de los últimos dos siglos. Pero sería erróneo suponer que podemos ir de ese tipo específico de crecimiento a una teoría de la verdad y la realidad. Tomar en serio el título de un libro que Lakatos propuso, pero nunca llegó a escribir, "La lógica cambiante del descubrimiento científico", es tomarse en serio la posibilidad de que Lakatos, como los griegos, haya hecho depender las verdades eternas de un simple episodio de la historia del conocimiento humano.

Nos queda una versión optimista de esta preocupación. Lakatos trataba de caracterizar ciertos valores objetivos de la ciencia occidental sin apelar a teorías correspondentistas de la verdad. Quizás esos valores objetivos son lo suficientemente recientes para justificar su limitación a los últimos dos o tres siglos. No tenemos una manera de evaluar externamente nuestra propia tradición, pero ¿por qué deberíamos querer algo así?

INTERMEDIO: LO REAL Y LAS REPRESENTACIONES

INTERMEDIO:

LO REAL Y LAS REPRESENTACIONES

La inconmensurabilidad, el nominalismo trascendental, los sustitutos de la verdad y los estilos del razonamiento forman parte de la jerga de los filósofos. Surgen de contemplar la conexión entre la teoría y el mundo. Todos llevan a un callejón sin salida idealista. Ninguno sugiere un sano sentido de la realidad. De hecho, mucha filosofía de la ciencia actual es similar a la epistemología del siglo XVII. Si nos ocupamos solamente del conocimiento como representación de la naturaleza, nos preguntamos cómo podremos alguna vez escapar de las representaciones y conectarnos al mundo. En esa dirección se encuentra el idealismo cuyo principal exponente era Berkeley. En nuestro siglo John Dewey ha hablado sarcásticamente de una teoría del conocimiento del espectador que ha obsesionado a la filosofía occidental. Si somos meros espectadores en el teatro de la vida, ¿cómo podremos jamás saber, sobre fundamentos internos al espectáculo del momento, qué es mera representación de los actores y qué es lo auténtico? Si hubiera una distinción precisa entre la teoría y la observación, entonces tal vez podríamos considerar real lo observado, mientras que las teorías, que simplemente representan, son ideales. Pero cuando los filósofos empiezan a enseñar que todas las observaciones están cargadas de teoría, parece que estamos completamente errados en la representación y, por lo tanto, en alguna versión del idealismo.

Compadezcamos al pobre de Hilary Putnam, por ejemplo. Quien alguna vez fuera uno de los filosófos más realistas trató de salir de la representación agregando la "referencia" al final de la lista de los elementos que constituyen el significado de una palabra. Fue como si algún poderoso gancho celeste referencial permitiera incorporar a nuestro lenguaje un pedazo de la mismísima cosa a la que se refiere. Pero Putnam no podía parar allí y terminó como un "realista interno", sólo que lleno de dudas trascendentales, y dado a algún tipo de idealismo o nominalismo.

Estoy de acuerdo con Dewey en el rechazo de esa falsa dicotomía entre actuar y pensar de la que surge ese idealismo. Tal vez todas las filosofías de la ciencia que he descrito sean parte de una teoría del conocimiento de espectadores más amplia. Aun así, no creo que la idea del conocimiento como representación del mundo propiamente dicha sea la fuente de ese mal. El daño proviene de una decidida obsesión con la representación, el pensamiento y la teoría a costa de la intervención, la acción y el experimento. Por esta razón, en la siguiente parte de este libro estudio la ciencia experimental, y encuentro en ella la base segura de un realismo indiscutible. Pero antes de irnos de la teoría al experimento, pensemos un poco más acerca de las nociones mismas de representación y realidad.

EL ORIGEN DE LAS IDEAS

¿Cuáles son los orígenes de estas dos ideas de *representación* y *realidad*? Locke podría haber planteado esta pregunta como parte de una indagación psicológica, tratando de mostrar cómo la mente humana forma, enmarca o constituye las ideas. Hay una ciencia legítima que estudia la maduración de las habilidades intelectuales humanas, pero los filósofos, por lo común, hacen algo muy diferente cuando examinan el origen de las ideas. Cuentan a fin de dar lecciones filosóficas. El propio Locke imaginaba una parábola cuando pretendía ejercer la historia natural de la mente. Nuestras psicologías modernas han aprendido a disfrazarse con la parafernalia de la investigación empírica, pero están menos alejadas del Locke fantástico de lo que creen. Como filósofos, demos la bienvenida a las fantasías. Puede que haya más verdad en una fantasía *a priori* promedio acerca de la mente humana que en las observaciones supuestamente desinteresadas y en la construcción de modelos matemáticos de la ciencia cognitiva.

LA ANTROPOLOGÍA FILOSÓFICA

Imagínese un texto filosófico de alrededor de 1850: "La realidad es una creación antropomórfica, tanto como el mismo Dios." Esto no debe pronunciarse en un tono solemne que diga "Dios está muerto y la realidad también". Ha de ser una afirmación más específica y práctica: *La realidad es sólo un derivado de un hecho antropológico*. Dicho más modestamente, el concepto de realidad es un derivado de un hecho acerca de los seres humanos.

Por antropología no quiero decir etnografía o etnología, que es el tipo de estudio a que se dedican en los departamentos actuales de antropología, y que en gran medida consiste en trabajo de campo. Por antropología me refiero a la ciencia del "Hombre", tan de moda en el siglo XIX. Kant alguna vez se planteó tres preguntas filosóficas. ¿Qué tiene que ser el caso? ¿Qué debemos hacer? ¿Qué podemos esperar? Tiempo después agregó una cuarta pregunta: *¿Qué es el Hombre*? Con esto inauguró la *Anthropologie philosophische*, e incluso escribió un libro con el título de *Antropología*. El realismo no ha de considerarse parte de la razón pura, ni del juicio, ni de la metafísica de las costumbres, ni siquiera de la metafísica de la ciencia natural. Si le vamos a dar una clasificación acorde con los títulos de los grandes libros de Kant, el realismo debería de estudiarse como parte de la *Anthropologie* misma.

Una Ciencia Pura de los Seres Humanos es un poco arriesgada. Cuando Aristóteles propuso que el Hombre es un animal que vive en ciudades, por lo que la *polis* es una parte de la naturaleza humana por la que Él lucha, su pupilo Alejandro lo refutó reinventando el imperio. Se nos ha dicho que el hombre es un fabricante de herramientas, o una criatura que tiene un pulgar, o que camina erecto. Se nos ha dicho que estas características fortuitas sólo se observan si se toma en cuenta la mitad de la especie equivocadamente llamada Hombre, y que las herramientas, los pulgares y la posición erecta a duras penas son lo que define la raza. Casi nunca resulta claro cuál es la base de estas aseveraciones, ya sean en favor o en contra. Supóngase que una persona define a los humanos como racionales, y que otra persona los define como los fabricantes de herramientas, ¿por qué diablos tendríamos que suponer que ser un animal racional es coextensivo con fabricar herramientas?

Las especulaciones acerca de la naturaleza esencial de la humanidad permiten más de lo mismo. Desde Descartes la conjetura de que los seres humanos son hablantes ha atraído a los filósofos. Se ha asegurado que la racionalidad, por su propia naturaleza, requiere el lenguaje, por lo que los humanos como seres racionales y los humanos como hablantes son coextensivos. Éste es un teorema central satisfactorio para una disciplina tan débil como la antropología fantástica. Aún así, a pesar de la manifiesta profundidad de esta conclusión, conclusión que ha alimentado libros inmensos, yo propongo otra fantasía. *Los seres humanos son representadores*. No *homo faber*, digo yo, sino *homo depictor*. La gente hace representaciones.

LOS LÍMITES DE LA METÁFORA

La gente hace semejanzas. Pinta cuadros, imita el cloquear de las gallinas, moldea el barro, esculpe estatuas y martilla el bronce. Éstos son los tipos de representación que empiezan a caracterizar a los seres humanos.

La palabra "representación" tiene un pasado bastante filosófico. Fue usada para traducir la palabra *Vorstellung* de Kant, algo que se coloca frente a la mente, una palabra que incluye imágenes así como otros pensamientos más abstractos. Kant necesitaba una palabra para reemplazar la "idea" de los empiristas franceses e ingleses. Esto es exactamente lo que yo *no* quiero decir con representación. Todo lo que llamo representación es público. Una idea lockeana no se puede tocar, pero sólo los guardias del museo pueden evitar que toquemos algunas de las representaciones hechas por nuestros antepasados. No quiero decir que todas las representaciones puedan tocarse, sino que todas son públicas. De acuerdo con Kant, un juicio es una representación de una representación, un poner frente a la mente de un poner frente a la mente, doblemente privado. Eso no es doblemente lo que llamo una representación. Pero en mi opinión, algunos sucesos públicos verbales pueden ser representaciones. No estoy pensando en enunciados declarativos simples, que seguramente no son representaciones, sino en especulaciones complicadas que aspiran a representar nuestro mundo.

Cuando hablo de representaciones quiero decir, antes que nada, objetos físicos: estatuillas, esculturas, pinturas, grabados, objetos que están hechos exactamente para ser examinados, contemplados. En la época más remota en que se encuentre algo humano se encontrarán estos objetos. Ocasionalmente algún suceso fortuito preserva fragmentos de madera o de paja que de otra manera se hubieran podrido. Las representaciones son públicas y externas, ya sean el más simple bosquejo en una pared, o, cuando estiro la palabra "representación", la más elaborada teoría acerca de fuerzas electromagnéticas o gravitacionales.

Las representaciones antiguas que se conservan son por lo general visuales y táctiles, pero no quiero excluir nada que sea públicamente accesible a los otros sentidos. Los silbatos para pájaros y las máquinas de viento también pueden producir semejanza, aunque lo común es que llamemos imitaciones a los sonidos que emiten. Sostengo que si una especie irrevocablemente ciega fuera tan inteligente como la especie humana, habría hecho muy buenas representaciones táctiles y auditivas, pues representar es parte de nuestra mismísima naturaleza. Puesto que tenemos ojos, la mayoría de las primeras representaciones fueron visuales, pero las representaciones no son visuales en esencia.

Las representaciones pretenden ser semejanzas más o menos públicas. Excluyo las *Vorstellungen* de Kant y las ideas internas lockeanas que representan el mundo para el ojo de la mente. También excluyo las oraciones públicas ordinarias. William James se burlaba de lo que llamaba la teoría copista de la verdad, que porta la más respetable etiqueta de teoría correspondentista de la verdad. La teoría copista dice que las proposiciones verdaderas son copias de aquello que las hace verdaderas en el mundo. El *Tractatus* de Wittgenstein tiene una teoría representacional de la verdad de acuerdo con la cual una oración verdadera es una que representa correctamente los hechos. Wittgenstein estaba equivocado. Las oraciones simples no son imágenes, copias o representaciones. Sin lugar a dudas, el discurso filosófico sobre la representación evoca recuerdos de las *Sätze* de Wittgenstein. Olvidémoslas. La oración "el gato está en el tapete" no es una representación de la realidad. Como Wittgenstein nos enseñó más adelante, es una oración que puede usarse para toda clase de propósitos, ninguno de los cuales es describir el mundo tal y como es. Por otro lado, las teorías electromagnéticas de Maxwell pretendían representar el mundo, decir cómo es. Las teorías, no las oraciones individuales, son representaciones.

Algunos filósofos, al darse cuenta de que las oraciones no son representaciones, concluyen que la idea misma de representación no tiene ningún valor para la filosofía. Esto es un error. Podemos emplear colectivamente oraciones complicadas para representar. Precisamente eso es el lenguaje ordinario. Un abogado puede representar a su cliente, y puede representar también que la policía colaboró indebidamente en la preparación de los informes. Por lo general una *sola* oración no representará. Una representación puede ser verbal, pero una representación verbal empleará gran cantidad de verbos.

LOS HUMANOS COMO HABLANTES

La primera proposición de mi antropología filosófica es que los seres humanos son representadores. Si un etnógrafo me dijera que hay una raza que no hace imágenes (no porque sea tabú, sino porque nadie haya pensado en representar algo) entonces me vería en la obligación de decir que esos seres no son gente, no son *homo depictor*. Si estamos convencidos de que la raza humana (y no sus predecesores) vivió en el desfiladero de Olduvai hace tres millones de años, y sin embargo no encontramos nada más que viejos cráneos y huellas, preferiría postular que las representaciones hechas por

esos antepasados africanos fueron borradas por la arena, y no que esa gente aún no hubiera comenzado a representar.

¿Cómo se lleva mi fantasía paleolítica *a priori* con la vieja idea de que los seres humanos son esencialmente racionales y que la racionalidad es esencialmente lingüística? ¿Debo sostener que la representación necesita un lenguaje o que la humanidad no necesita ser racional? Si el lenguaje tiene que embutirse en la racionalidad, con gusto concluiría que los seres humanos pueden *volverse* animales racionales. Es decir, el *homo depictor* no siempre mereció el galardón de racionalidad que le otorgaba Aristóteles, sino que se lo fue ganando conforme se fue volviendo más inteligente y comenzó a hablar. Imaginemos, por un momento, a la gente pictórica haciendo semejanzas antes de aprender a hablar.

LOS COMIENZOS DEL LENGUAJE

La especulación sobre los orígenes del lenguaje tiende a carecer de imaginación y a ser condescendiente. Escuchamos que el lenguaje debió haberse inventado para ayudar en asuntos prácticos como la cacería y la labranza. "Qué útil poder hablar", dice el estribillo. "Cuánto más eficiente habría sido la gente si hubiera sabido hablar. El habla hace mucho más probable que los cazadores y los labradores puedan sobrevivir."

Los estudiosos partidarios de estas tonterías obviamente nunca han arado un campo ni han ido de caza, donde el silencio, no la palabrería, está a la orden del día. La gente que desyerba los campos por lo general no habla. Habla sólo cuando descansa. En las planicies del África oriental el cazador con mayor número de víctimas es el perro salvaje, pero algunos profesores de mediana edad, si convienen en no hablar ni hacerse señas, serán más eficaces en atrapar gacelas que cualquier perro salvaje. El león que ruge y los perros que ladran se morirían de hambre si suficientes seres humanos silenciosos se pusieran a cazar sin ayuda de ningún arma.

El lenguaje no es para los asuntos prácticos. Jonathan Bennett cuenta que el lenguaje comienza cuando un "miembro de una tribu" previene a otro de que un coco está por caerle en la cabeza.[1] El primer nativo previene al otro con una mímica sobreactuada de algo cayéndole en la cabeza, y más tarde lo hace pronunciando un sonido de advertencia, comenzando así el lenguaje. Apuesto que nunca le cayó un coco a un miembro de una tribu en

[1] J. Bennett, "The Meaning-Nominalist Strategy", *Foundations of Language*, no. 10, 1973, pp. 141–168.

la cabeza más que en tiras cómicas racistas, por lo que dudo de esta fantasía. Prefiero la sugerencia acerca del origen del lenguaje atribuida a la familia Leakey, quienes excavaron el desfiladero de Olduvai. La idea es que la gente inventó el lenguaje por aburrimiento. Después de que obtuvimos el fuego no teníamos nada que hacer para pasar las largas tardes, así que empezamos a contarnos chistes. Esta fantasía acerca del inicio del lenguaje tiene el gran mérito de considerar el habla como algo humano. No se concentra en miembros de tribus del trópico sino en gente.

Imagínese al *homo depictor* empezando a usar los sonidos que podemos traducir como "real" o "así son las cosas", dicho de una estatuilla de barro o de una mancha en la pared. Supongamos que el discurso continúa como "esto real, entonces eso real", o más idiomáticamente, "si esto es como son las cosas, entonces eso también es como son las cosas". Como a la gente le gusta discutir, otros sonidos pronto expresan "no, ése no es real, pero este otro sí lo es".

En esta fantasía no llegamos primero a los nombres y las descripciones, o al sentido y la referencia a los que los filósofos son tan aficionados. En vez de eso comenzamos con los indexicales, las constantes lógicas y los juegos de buscar y encontrar. El lenguaje descriptivo viene después, no como un sustituto de la descripción, sino conforme se inventan otros usos para el habla.

Entonces el lenguaje empieza con "esto real", dicho de una representación. Dicha historia tiene a su favor el hecho de que "esto real" no es para nada como "tú Tarzán, yo Jane", pues desempeña el papel de un pensamiento complicado, es decir, característicamente humano, a saber, que esta talla en madera muestra algo real acerca de lo que representa.

Esta vida imaginada intenta ser un antídoto contra el carácter menospreciativo de la cita con la que empecé: la realidad es una creación antropomórfica. La realidad puede ser una creación humana, pero no es un juguete; por el contrario, es la segunda de las creaciones humanas. La primera invención característicamente humana es la representación. Una vez que hay una práctica de representar, viene inmediatamente a continuación un concepto de segundo orden. Éste es el concepto de la realidad, un concepto que tiene contenido sólo cuando hay representaciones de primer orden.

Puede alegarse que la realidad, o el mundo, estaban allí antes de cualquier representación o lenguaje humano. Por supuesto, pero su conceptualización como realidad es secundaria. Primero se dio esta actividad humana, hacer representaciones. Después vinieron los juicios acerca de si las representaciones son reales o no, verdaderas o falsas, fieles o infieles. Al final viene el mundo; no en primero, sino en segundo, tercero o cuarto lugar.

Cuando digo que la realidad es parásito de la representación no me alío con quienes, como Nelson Goodman o Richard Rorty, exclaman "¡el mundo se pierde completamente!" El mundo tiene un magnífico lugar, si bien no el primero. Se encontró por medio de la conceptualización de lo real como un atributo de las representaciones.

¿Existe la más mínima prueba empírica en favor de mi versión acerca del origen del lenguaje? No. Sólo hay indicios leves. Digo que representar es algo curiosamente humano. Lo considero específico de la especie. Todo lo que tenemos que hacer es ver el árbol evolutivo para darnos cuenta de que hay algo de verdad en esto. Droguemos a un mandril y pintemos su cara, hagamos que se la vea en el espejo. No nota nada fuera de lo normal. Hagamos lo mismo con un chimpancé. Se enoja muchísimo, ve que tiene pintura en la cara y trata de quitársela. A la gente, por su parte, le gustan los espejos para examinar su maquillaje. Los mandriles nunca harán dibujos. El estudioso del lenguaje David Premack le ha enseñado a chimpancés una especie de lenguaje que utiliza la representación pictórica. El *homo depictor* era mejor que eso desde el principio. Seguimos siéndolo.

SIMILITUD

Las representaciones son antes que nada similitudes. Decir esto hace caso omiso de las perogrulladas filosóficas. Todos sabemos que no hay representación sin estilo. Incluso las culturas menos instruidas tienen que tener un sistema de representación si es que van a representar algo en absoluto. Puede alegarse entonces que no pudo haber al principio mera representación, creación de similitud. Debe haber habido un estilo de representación antes de que hubiera representación.

No tengo por qué estar en desacuerdo con esa doctrina, siempre y cuando se admita que los estilos no preceden a la representación. Crecen con la representación conforme los materiales se trabajan, y conforme los artesanos producen artefactos que afectan la sensibilidad de sus clientes.

Un acertijo algo más filosófico merodea por aquí. Se dice que las cosas son similares en uno u otro aspecto, y no pueden ser similares a secas. Tiene que haber algún concepto que podamos usar para expresar aquello en que consiste la similitud. Dos personas caminan de la misma manera, o tienen la misma apariencia, o la misma nariz, o los mismos padres, o el mismo carácter. Pero dos personas no pueden ser "similares" a secas. También estoy de acuerdo, pero sostengo tentativamente que esto no previene la similitud a secas.

La filosofía me ha lavado mucho el cerebro como para sostener que las cosas *en general* pueden ser similares a secas, sin reservas. Deben ser similares o disimilares en este o aquel aspecto. Sin embargo, una cosa en particular, a saber, una representación hecha por seres humanos, puede ser sin reservas similar a lo que pretende representar. Nuestra noción generalizada de similitud es, como nuestra idea de realidad, dependiente de nuestras prácticas de representación. Puede que haya alguna manera inicial en la que las representaciones sean similares a lo que representan. No cabe duda de que algunos artefactos humanos de pueblos muy lejanos y extranjeros se reconocen inmediatamente como similitudes, aun cuando no sepamos similitudes de qué son. Esas pinturas, esculturas, incrustaciones en oro, trabajos en cobre, rostros de arcilla, figuras de mamut grabadas en piedra, canoas en miniatura empleadas en los ritos funerarios —todos los restos artísticos que encontramos en donde alguna vez vivieron seres humanos— son similitudes. Puedo no saber de qué son símil o para qué servían. No comprendo bien los sistemas de representación, pero sé que son representaciones. En Delfos veo la escultura de una persona, tal vez de un dios, en lo que llamamos un estilo formal o sin vida. Veo los adornos de oro en las piernas y la capa con la que se vistió al marfil. Está grabada hasta en los detalles más pequeños y "realistas" con escenas de unos toros y leones. El objeto arcaico y los objetos realistas en medios diferentes están hechos en lo que los arqueólogos dicen que es el mismo periodo. No sé para qué son esos objetos. Sé que ambos son similitudes. Veo el auriga arcaico en bronce, con sus ojos convincentemente humanos hechos de piedras semipreciosas. ¿Cómo es posible, me pregunto, que pudieran trabajar juntos los artesanos de lo que llamamos formas sin vida y los que llenaban de vida sus creaciones? ¿Acaso debido a que estas artesanías que utilizaban diferentes medios evolucionaron de manera diferente? ¿Debido a una combinación olvidada de propósitos desconocidos? Estas preguntas sutiles se formulan en el contexto de lo que damos por sentado. Sabemos por lo menos esto: esos artefactos son representaciones.

Reconocemos la similitud y la representación aun cuando no podamos responder la pregunta: ¿similitud con qué? Piénsese en las pequeñas figurillas de barro en la que están pintados esbozos de vestimenta, pero que en lugar de cabezas tienen pequeñas depresiones con forma de plato que tal vez sirvieran para aceite. Esos objetos del tamaño de un dedo están por todos lados en Micenas. Dudo que representen algo en particular. Me recuerdan las figuras de ángeles que hacen los niños en la nieve, acostándose de espaldas en la nieve y moviendo los brazos y las piernas para crear la imagen de alas y una falda. Los niños hacen esas figuras por placer. No sabemos

qué hacían los ciudadanos de Cnosos con sus figurillas, pero sabemos que ambas son de alguna manera similitud. Las alas y la falda son como alas y falda, si bien el ángel así representado no es como ninguna cosa en la tierra.

Las representaciones por lo general no pretenden decir cómo son las cosas. Pueden ser retratos o deleites. Después de nuestra obsesión reciente con las palabras vale la pena relexionar sobre las pinturas y las esculturas. Los filósofos del lenguaje muy rara vez se resisten al impulso de decir que el primer uso del lenguage es decir la verdad. No debería haber tal compulsión con las pinturas. Discutir acerca de dos dibujos de bisontes, "si eso es como son las cosas, entonces eso otro es también como son las cosas", es hacer algo insólito. Los dibujos rara vez y las estatuas jamás se emplean para decir cómo son las cosas. Al mismo tiempo hay un núcleo de la representación que permite a los arqueólogos recoger milenios más tarde ciertos objetos entre las ruinas de un sitio arqueológico, y verlos como similitud. Sin lugar a dudas "similitud" es la palabra equivocada, porque los objetos de "arte" van seguramente a incluir productos de la imaginación, cosas feas y bonitas hechas porque sí, o por venganza, por riqueza, entendimiento, cortejo o terror. Pero por dentro de todos ellos hay una noción de representación que tiene raíces en la similitud. La similitud está sola. No es una relación. Crea los términos en una relación. Antes que nada hay similitud, después hay similitud con respecto a algo. Primero hay representación y luego está lo real. Primero hay una representación y mucho más tarde hay una creación de conceptos en términos de los cuales podemos describir este u otro aspecto en el que hay similitud. Pero la similitud puede sostenerse por sí misma, sin la necesidad de conceptos x, y o z, lo que nos lleva a pensar en similitud en la representación de z, pero no con x o con y. No es absurdo pensar que hay una noción burda y no refinada de similitud que surge de la actividad de hacer representaciones y que, conforme la gente se vuelve más hábil para trabajar los materiales, genera todo tipo de maneras de notar qué es como qué.

EL REALISMO NO ES PROBLEMA

Si la realidad fuera sólo un atributo de la representación, y no hubiéramos concebido estilos alternativos de representación, entonces el realismo no sería un problema ni para los filósofos ni para la estética. El problema surge porque tenemos sistemas alternativos de representación.

Ésta es la clave para entender el actual interés filosófico en el realismo científico. Otras crisis "realistas" anteriores tenían por lo general sus raíces

en la ciencia. La competencia entre los sistemas de Ptolomeo y de Copérnico concernía a la cuestión de decidir entre cosmologías instrumentalistas y realistas. Las disputas acerca del atomismo a fines del siglo XIX hicieron que se dudara de la realidad de los átomos, y del sentido en que podían ser o no algo real. El debate actual acerca del realismo científico no corresponde a ninguna cuestión central en las ciencias naturales. ¿De dónde viene entonces? De las sugerencias de Kuhn y otros de que con el crecimiento del conocimiento podemos habitar mundos diferentes, de revolución en revolución. Las nuevas teorías son nuevas representaciones. Representan de una manera diferente y son por lo tanto nuevos tipos de realidad. Hasta aquí lo que he dicho es simplemente una consecuencia de mi descripción de la realidad como un atributo de la representación.

Si hubiera solamente representaciones indiferenciadas, entonces, en mi historia fantástica acerca del origen del lenguaje, "real" es inequívoco. Pero tan pronto como las representaciones empiezan a competir tenemos que pensar en lo que es real. El antirrealismo no tiene sentido cuando sólo existe un tipo de representación. Después se vuelve posible. En nuestra época esto ha surgido como una consecuencia de *La estructura de las revoluciones científicas* de Kuhn. Es, sin embargo, un viejo tema en la filosofía, ilustrado maravillosamente por los primeros atomistas.

EL SUEÑO DE DEMÓCRITO

Una vez que la representación estuvo con nosotros, la realidad no podía estar muy lejos. Es una noción obvia que una especie inteligente no va a dejar de cultivar. La prehistoria de nuestra cultura está necesariamente dada por representaciones de varios tipos, pero todo lo que nos queda son objetos físicos pequeños, vasijas decoradas, piezas moldeadas, incrustaciones, marfil, madera, pequeñas herramientas funerarias, paredes decoradas, piezas astilladas. La *Anthropologie* va más allá de las fantasías que he construido sólo cuando tenemos la palabra recordada, las épicas, los conjuros, las cronologías y las especulaciones. Los fragmentos presocráticos serían una farsa de no ser porque su linaje se remonta a las estrategias que ahora llamamos "ciencia". Al realista científico del presente le preocupa principalmente lo que en un tiempo se llamaba la constitución interna de las cosas, así que voy a sacar sólo una hebra de la madeja presocrática, la que lleva al atomismo. A pesar de Leucipo, y de otros predecesores olvidados, es natural asociar esta posición con Demócrito, un hombre que era sólo un poco más viejo que Sócrates. Las mejores ciencias de su tiempo eran la astronomía

y la geometría. Los atomistas eran malos en lo primero y débiles en lo segundo, pero tuvieron una intuición extraordinaria. Las cosas, pensaban ellos, tienen una constitución interna sobre la que podemos reflexionar y que incluso podemos llegar a descubrir. Por lo menos conjeturaron que los átomos y el vacío son todo lo que existe, y que lo que tocamos y oímos sólo son modificaciones de éstos.

El atomismo no es esencial para este sueño del conocimiento. Lo que importa es una organización inteligible detrás de la que percibimos por medio de los sentidos. A pesar del papel central de la cosmología, la prueba euclidiana, la medicina y la metalurgia en la formación de la cultura occidental, nuestros problemas actuales acerca del realismo científico provienen principalmente del sueño de Demócrito. Busca un nuevo tipo de representación. Pero todavía busca similitud. Me imagino a Demócrito diciendo: esta piedra no es como la vemos. Es así —y dibuja puntos en la arena o en una tablilla que se considera que representa el vacío. Estos puntos están en movimiento continuo y uniforme, nos dice, y empieza a contarnos una historia de partículas que sus descendientes transformaron en formas raras, resortes, fuerzas, campos, todos demasiado pequeños o demasiado grandes para que puedan ser vistos u oídos excepto como agregados. Pero el agregado, continúa Demócrito, es nada menos que esta piedra, este brazo, este planeta, este universo.

Son de esperarse reflexiones filosóficas conocidas. El escepticismo es inevitable, pues si los átomos y el vacío constituyen la realidad, ¿cómo podemos llegar a saberlo? Como nos dice Platón en el *Gorgias*, este escepticismo tiene tres puntas. Todo escepticismo tiene tres puntas, desde que Demócrito formuló el atomismo. Primero que nada está la duda de que podamos verificar una versión particular del sueño de Demócrito. Si mucho más tarde Lucrecio les agrega ganchos a los átomos, ¿cómo saber si él o algún otro especulador está en lo correcto? Segundo, está el miedo de que ese sueño sea sólo eso, un sueño; que no haya átomos, ni vacío, sólo piedras, acerca de las que podemos construir modelos diferentes, para diferentes propósitos, cuya única piedra de toque, cuya única base de comparación, cuya única realidad, sea la piedra misma. Tercero, existe la duda de que, si bien no es posible creerle a Demócrito, la posibilidad misma de su historia nos muestra que no podemos darle crédito con seguridad a lo que vemos, por lo que quizás no deberíamos tratar de tener conocimiento sino sólo la ignorancia contemplativa de la bañera.

La filosofía es un producto del conocimiento, no importa qué tan esquemática sea la idea que tengamos de lo que conocemos. A los escépticos del tipo "¿sé que eso es una mano enfrente de mí?" se les llama "ingenuos"

cuando mejor se les debería llamar degenerados. El escepticismo serio que está asociado con la filosofía no es del tipo "¿Es ésta una mano, una cabra o una alucinación?", sino el que se origina de la preocupación con la aseveración mucho más desafiante de que la mano representada como carne y hueso es falsa, mientras que la mano representada como átomos y vacío es más correcta. El escepticismo es el producto del atomismo y del surgimiento de otro conocimiento. Lo mismo sucede con la división filosófica entre la apariencia y la realidad. De acuerdo con el sueño de Demócrito, los átomos deben ser como la constitución interna de la piedra. Si lo "real" es un atributo de lo representado, entonces, cuando enuncia esta doctrina, Demócrito sólo puede decir que su representación de las partículas representa la realidad. ¿Pero qué pasa con la representación de la piedra como café, incrustada, irregular, sostenida en la mano? Eso, nos dice el atomista, debe ser apariencia.

A diferencia de su opuesto, la realidad, la "apariencia" es un concepto totalmente filosófico. Se impone sobre la primera separación entre la representación y la realidad. Mucha filosofía pone de cabeza esta tríada. Locke pensaba que primero tenemos apariencia, después representación mental, y finalmente buscamos la realidad. Por el contrario, hacemos representaciones públicas, nos formamos el concepto de la realidad, y conforme los sistemas de representación se multiplican, nos volvemos escépticos y nos formamos la idea de una mera apariencia.

Nadie llama a Demócrito un realista científico: el "atomismo" y el "materialismo" son los únicos "ismos" que encajan. Considero el atomismo como el paso natural de la edad de piedra al realismo científico, porque despliega la noción de la "constitución interna de las cosas". Con esta frase del siglo XVII especificamos una constitución acerca de la cual pensamos, y esperamos descubrir. Pero nadie supo nada de los átomos durante mucho, mucho tiempo. Demócrito transmitió un sueño, pero no conocimiento. Los conceptos complicados necesitan criterios de aplicación. Eso le hacía falta a Demócrito. No tenía suficiente conocimiento más allá de sus especulaciones que le permitiera tener criterios para evaluar si su representación era o no la realidad. La primera cosa que hizo fue gritar "real" y acusar de mera apariencia la manera como vemos las cosas. El realismo científico o el antirrealismo no se convierten en doctrinas verosímiles hasta que no hay criterios para juzgar si la constitución interna de las cosas es tal y como se representa.

LOS CRITERIOS DE LA REALIDAD

Demócrito nos dio una representación: el mundo está hecho de átomos. Los observadores menos ocultistas nos dieron otra. Pintaron piedras en la playa, esculpieron formas humanas y se contaron cuentos. En mi opinión, la palabra "real" significó primero similitud sin ninguna calificación. Pero posteriormente, gente inteligente llegó a concebir similitud en muchos sentidos. Lo "real" dejó de ser inequívoco. Tan pronto como lo que llamaríamos ahora la física especulativa nos dio visiones alternativas de la realidad, la metafísica encontró su lugar. La metafísica trata de los criterios de la realidad. La metafísica trata de distinguir entre los buenos sistemas de representación y los malos. La metafísica sirve para clasificar representaciones cuando los únicos criterios para las representaciones son supuestamente internos a la representación misma.

Ésta es la historia de la vieja metafísica y la creación del problema del realismo. La nueva era en la ciencia parecía habernos salvado de todo esto. A pesar de algunos filósofos descontentos como Berkeley, la nueva ciencia del siglo XVII pudo suplantar incluso a la religión organizada y decirnos que nos daba la verdadera representación del mundo. A veces las cosas se iban por mal camino, pero el abandono de las ideas falsas nos llevaba finalmente por la senda correcta. Así, la revolución química de Lavoisier fue vista como una verdadera revolución. Lavoisier se equivocó en algunas cosas: ya he usado dos veces antes el ejemplo de su confianza en que los ácidos tenían oxígeno. Eso lo excluimos. En 1816, el nuevo profesor de química en el Colegio de Harvard les cuenta a los nuevos alumnos la historia de la química en una sesión inaugural. Les recuerda las revoluciones del pasado reciente, y les dice que ahora estamos en el camino correcto. De ahora en adelante sólo va a haber correcciones. Todo esto estuvo bien hasta que empezamos a darnos cuenta de que *puede haber diversas maneras de representar los mismos hechos.*

No sé cuándo surgió esta idea. En el importante trabajo póstumo de 1894 de Heinrich Hertz, *Los principios de la mecánica*, ya es evidente. Se trata de un trabajo extraordinario, que se dice llevó a Wittgenstein a su teoría copista del significado, que es el núcleo de su libro *Tractatus Logico-Philosophicus* de 1918. Tal vez este libro, o su traducción al inglés de 1899, ofrece por primera vez la terminología explícita de una "imagen científica" —inmortalizada en la primera oración de *La estructura* de Kuhn y, siguiendo a Wilfred Sellars, usada como título del libro antirrealista de van Fraassen. Hertz presenta "tres imágenes de la mecánica" —tres maneras diferentes de representar el conocimiento de entonces acerca del movimiento

de los cuerpos. Aquí, quizás por primera vez, se nos muestran tres sistemas diferentes de representación. Sus méritos se evalúan y Hertz se inclina por uno de ellos.

Así, aun con la ciencia natural mejor entendida —la mecánica—, Hertz necesitaba criterios para escoger entre representaciones. No son sólo los artistas de las décadas de 1870 y 1880 quienes nos dieron nuevos sistemas de representación, ya sean los llamados postimpresionistas u otros. La ciencia misma tiene que producir criterios de lo que es "similar", o de lo que cuenta como una representación correcta. Mientras que el arte aprende a vivir con modos alternativos de representación, Hertz trata valientemente de encontrar el modo correcto de representación para la mecánica. Ninguno de los valores tradicionales —en boga todavía en 1983—, los valores de predicción, simplicidad, fertilidad, y otros, nos permiten seleccionar uno de los modos de representación. Como nos dice Hertz, el problema es que todos los modos de representar la mecánica son magníficos, uno es mejor en un aspecto, otro es mejor en otro aspecto. ¿Cuál es entonces la verdad acerca del movimiento de los cuerpos? Hertz invita a la siguiente generación de positivistas, incluyendo a Pierre Duhem, a decir que no es una cuestión de lo que es verdadero; que sólo hay sistemas mejores o peores de representación, y que bien puede haber imágenes inconsistentes pero igualmente buenas de la mecánica.

El trabajo de Hertz se publicó en 1894, y el de Duhem en 1906. En ese lapso toda la física se puso de cabeza. Cada vez más, la gente que no sabía nada de física murmuraba que todo es relativo a la cultura en la que se vive, pero otra vez, los físicos estaban seguros de que ahora sí iban por la única senda verdadera. No tenían dudas acerca de la representación correcta de la realidad. Tenemos sólo una medida de similitud: el método hipotético deductivo. Proponemos hipótesis, deducimos consecuencias y vemos si son verdaderas. Las advertencias de Hertz de que puede haber varias representaciones del mismo fenómeno se desatendieron. Los positivistas lógicos, los hipotético-deductivistas, los falsacionistas de Karl Popper, todos ellos se conmovieron con la nueva ciencia de 1905 y promovieron el realismo científico, aun cuando su filosofía los debería haber hecho un poco antirrealistas. Sólo cuando la física ya estaba más tranquila, Kuhn empezó a cuestionar esa historia. La ciencia no es hipotético-deductiva. Tiene hipótesis, hace deducciones, pone a prueba conjeturas, pero ninguna de estas actividades determina el movimiento de la teoría. En una lectura extrema de Kuhn, no hay criterios para decir qué representación de la realidad es la mejor. Las representaciones se escogen por presiones sociales. Lo que Hertz concibió

como una posibilidad demasiado aterradora como para discutirla, Kuhn lo formuló como un hecho.

RESUMEN ANTROPOLÓGICO

La gente representa. Esto es parte de lo que es ser una persona. Al principio, representar era hacer un objeto como algo de nuestro entorno. La similitud no era problemática. Luego, diferentes tipos de representación fueron posibles. ¿Cuál era similar, cuál era real? La ciencia y su filosofía confrontan este problema desde el principio, con Demócrito y sus átomos. Cuando la ciencia se convirtió en la ortodoxia del mundo moderno, un tiempo fue posible sostener la fantasía de que hay una sola verdad hacia la que nos dirigimos. La que corresponde a la representación correcta del mundo. Pero las semillas de las representaciones alternativas estaban allí. Hertz hizo esto explícito, incluso antes de la nueva era de ciencia revolucionaria que vino con este siglo. Kuhn tomó la revolución como la base de su versión de antirrealismo. Debemos saber lo siguiente: cuando hay una verdad final acerca de algo —como que mi máquina de escribir está sobre la mesa—, entonces lo que decimos es verdadero o falso. No es un asunto de representación. El *Tractatus* de Wittgenstein está exactamente equivocado. Las oraciones simples atómicas ordinarias no son representaciones de nada. Si Wittgenstein derivó su teoría de las imágenes de Hertz, lo hizo equivocadamente. Pero Hertz estaba en lo correcto respecto a la representación. En la física y en muchas otras conversaciones interesantes hacemos representaciones —imágenes en palabras, por así decirlo. En la física hacemos esto por medio de elaborados sistemas de modelaje, desarrollo de estructuras, teorías, cálculos, aproximaciones. Estas actividades son representaciones reales y articuladas de cómo es el mundo. Las representaciones de la física son totalmente diferentes de las aseveraciones simples y no representacionales acerca de la localización de mi máquina de escribir. Hay una verdad que es el caso acerca de mi máquina de escribir. En la física no hay una verdad final, sólo una variedad más o menos instructiva de representaciones.

Aquí simplemente he repetido una buena parte de los aforismos del asceta ítalo-suizo de principios de siglo Danilo Domodosala: "Cuando hay una verdad final, entonces lo que decimos es breve, y es o bien verdadero o bien falso. No es un asunto de representación. Cuando damos representaciones del mundo, como en la física, no hay una verdad final." La ausencia de una verdad final en la física debería ser exactamente lo opuesto a perturbadora. Hegel en su prefacio de la *Fenomenología del espíritu* da una visión correcta

de la investigación vívida: "La Verdad es pues la orgía báquica en la que no hay alguien que no esté ebrio; aunque, como cada miembro sufre un colapso cuando cae, la orgía sigue igualmente transparente y simplemente reposa." El realismo y el antirrealismo se deslizan por allí, tratando de encontrar algo en la naturaleza de la representación que les permitirá dominar al otro. Pero allí no hay nada más. Por eso ahora paso de la representación a la intervención.

EL HACER

Con espíritu de ironía juguetona, permítaseme introducir la parte experimental de este libro citando al filósofo de tiempos recientes más orientado a la teoría, a saber, Karl Popper:

> Supongo que el uso más importante del término "real" es su uso para caracterizar las cosas materiales del tamaño ordinario —las cosas que un bebé puede manipular y (preferentemente) poner en su boca. A partir de aquí, el uso del término "real" se extiende, primero, a las cosas más grandes —las cosas que son demasiado grandes para que las podamos manipular, como los trenes, las casas, las montañas, la tierra y las estrellas—, y también a las cosas pequeñas —cosas como partículas de polvo o pulgas. Se extiende, por supuesto, posteriormente a los líquidos y al aire, a los gases y a las moléculas y a los átomos.
>
> ¿Cuál es el principio detrás de la extensión? Yo sugiero que es que las entidades que conjeturamos que son reales deben ejercer un efecto causal sobre las cosas que son *prima facie* reales; esto es, sobre las cosas materiales del tamaño ordinario: que podemos explicar los cambios en el mundo material ordinario de las cosas por el efecto causal de las entidades que conjeturamos que son reales.[2]

Ésta es la caracterización de Karl Popper de nuestro uso de la palabra "real". Nótese el inicio tradicional como fantasía lockeana. Lo "real" es una noción que obtenemos de lo que podíamos ponernos en la boca cuando niños. Ésta es una visión atractiva, no libre de matices. Esta idea es tan absurda como la de mi ridícula historia de las representaciones y lo real. Pero Popper apunta en la dirección correcta. La realidad tiene que ver con la causalidad, y nuestras nociones de la realidad se forman a través de nuestras habilidades para cambiar el mundo.

[2] Karl Popper y John Eccles, *The Self and Its Brain*, Berlín, Nueva York y Londres, 1977, p. 9.

Quizás haya dos orígenes míticos muy distintos de la idea "realidad". Una es la realidad de la representación, la otra es la idea de lo que tiene un efecto sobre nosotros y sobre lo que podemos influir. El realismo científico se discute por lo general bajo el título de representación. Discutámoslo ahora bajo el título de intervención. Mi conclusión es obvia, incluso trivial. Consideremos real lo que podemos usar para intervenir en el mundo para afectar algo más, o lo que el mundo puede usar para afectarnos. La realidad como intervención no empieza a mezclarse con la realidad como representación hasta la ciencia moderna. La ciencia natural desde el siglo XVII ha sido la aventura del entrelazamiento de la representación y la intervención. Ya es tiempo de que la filosofía se ponga al día de lo ocurrido en los últimos tres siglos de su propio pasado.

PARTE B: INTERVENIR

9

EL EXPERIMENTO

Los filósofos de la ciencia constantemente discuten sobre teorías y sobre la representación de la realidad, pero no dicen casi nada acerca de los experimentos, la tecnología o el uso del conocimiento para la modificación del mundo. Esto es extraño, porque era costumbre usar "método experimental" simplemente como sinónimo de método científico. La imagen popular, ignara, del científico era la de alguien en una bata blanca de laboratorio. Por supuesto, la ciencia precedió a los laboratorios. Los aristotélicos subestimaban los experimentos y favorecían la deducción a partir de primeros principios. Pero la revolución científica del siglo XVII cambió todo eso para siempre. El experimento fue declarado oficialmente el camino real hacia el conocimiento, y los académicos fueron desdeñados porque argumentaban a partir de los libros en lugar de observar el mundo que los rodeaba. El filósofo de esta época revolucionaria fue Francis Bacon (1561–1626). Él enseñaba que no sólo deberíamos observar la naturaleza en vivo, sino que también deberíamos "torcerle la cola al león", esto es, manipular nuestro mundo para aprender sus secretos.

La revolución en la ciencia trajo consigo nuevas instituciones. Una de las primeras fue la Royal Society de Londres, fundada alrededor de 1660. Sirvió como modelo para otras academias nacionales en París, San Petersburgo y Berlín. Se inventó una nueva forma de comunicación: la revista científica. Las primeras páginas de las *Philosophical Transactions of the Royal Society*, tenían un aire curioso. Si bien este registro impreso de trabajos presentados a la Sociedad tenía siempre algo de matemáticas y teoría, era más que todo una crónica de hechos, observaciones, experimentos y deducciones a partir de experimentos. Los reportajes sobre monstruos marinos o sobre el tiempo en las Hébridas se codeaban con los trabajos memorables de gente como Robert Boyle o Robert Hooke. Ni Boyle ni Hooke se dirigirían a la Royal Society sin una demostración de algún nuevo aparato o fenómeno experimental para presentarla delante de las personas reunidas.

Los tiempos han cambiado. La historia de las ciencias naturales se escribe ahora casi siempre como una historia de teorías. Hasta tal punto la filosofía de la ciencia se ha vuelto una filosofía de la teoría que la misma existencia de observaciones o experimentos preteóricos ha sido negada. Espero que los capítulos siguientes inicien un movimiento de vuelta a Bacon, en el que le pongamos más atención a la ciencia experimental. La experimentación tiene una vida propia.

CLASE Y CASTA

Según la leyenda y quizás por naturaleza, los filósofos están más acostumbrados al escritorio que al banco de los artesanos. No es sorprendente que nos hayamos entregado ciegamente a la teoría y despreciado el experimento. Aunque no siempre hemos estado tan aislados. Se ha considerado a Leibniz el intelecto puro más grande que el mundo haya conocido jamás. Pensó acerca de todo. Aunque fue menos exitoso en la construcción de molinos de viento para su uso en minería que en la coinvención del cálculo diferencial, las observaciones de este superintelecto acerca del papel del experimento son, sin lugar a dudas, más fieles a la práctica científica, entonces como ahora, que mucho de lo que figura en los textos modernos de filosofía. Filósofos como Bacon y Leibniz muestran que no tenemos por qué ir contra lo experimental.

Antes de pensar en la filosofía de los experimentos deberíamos hacer notar cierta diferencia de casta o de clase entre el teórico y el experimentador. Tiene poco que ver con la filosofía. Encontramos prejuicios en favor de la teoría desde que surgió la ciencia institucionalizada. Platón y Aristóteles frecuentaban la Academia de Atenas. Ese edificio está localizado a un lado del ágora, o mercado. Está casi tan lejos como es posible del Herculaneum, el templo de la diosa del fuego, patrona de los metalúrgicos. Está "en la zona privilegiada". Fieles a esta distinción de clase, todos sabemos algo acerca de la geometría griega y de las enseñanzas de los filósofos. ¿Quién sabe algo acerca de la metalurgia griega? Tal vez los dioses nos hablan a su manera. De todos los edificios que en un tiempo hermoseaban el ágora ateniense, sólo uno se mantiene como siempre fue, intacto por el tiempo o la reconstrucción. Ése es el templo de los metalurgistas. La Academia se cayó hace mucho tiempo. Ha sido reconstruida —en parte con dinero ganado en los altos hornos de Pittsburgh.

Incluso la nueva ciencia que se dedicaba al experimento privilegiaba a la teoría. Estoy seguro, por ejemplo, de que Robert Boyle (1627–1691) es un

personaje más familiar en la ciencia que Robert Hooke (1635–1703). Hooke, el experimentador que también teorizaba, está casi olvidado, mientras que Boyle, el teórico que también experimentaba, se menciona todavía en los textos en la escuela primaria.

Boyle tenía una visión especulativa del mundo según la cual estaba formado por pequeñas bolas que rebotaban como si fueran resortes. Fue el vocero de la filosofía corpuscular y mecanicista, como se llamaba entonces. Sus importantes experimentos de química se recuerdan menos, mientras que Hooke tenía reputación de mero experimentador —cuyas intuiciones teóricas son totalmente ignoradas. Hooke era el curador de los experimentos para la Royal Society, y un tipo intratable que se vivía peleando con todo el mundo —en parte debido a su jerarquía menor como experimentador. Aun así, seguramente se merece un lugar en el panteón de la ciencia. Él construyó el aparato con el que Boyle investigó experimentalmente la expansión del aire (la ley de Boyle). Descubrió las leyes de la elasticidad y las utilizó, por ejemplo, en la construcción de los resortes espirales para relojes de bolsillo (la ley de Hooke). Su modelo de resortes interatómicos fue adoptado por Newton. Fue el primero en construir un telescopio reflejante radicalmente nuevo, con el que descubrió importantes estrellas nuevas. Descubrió que el planeta Júpiter rotaba sobre su eje, una idea nueva. Su trabajo en microscopía fue del más alto nivel, y le debemos la palabra "célula" misma. Su trabajo sobre fósiles microscópicos lo llevó a ser uno de los primeros en proponer una teoría de la evolución. Entendió cómo utilizar un péndulo para medir la fuerza de la gravedad. Codescubrió la difracción de la luz. (La luz se tuerce alrededor de las esquinas, de tal manera que las sombras se hacen borrosas; pero lo más importante es que se separa en sombras, en bandas luminosas y oscuras.) Utilizó esto como la base para una teoría ondulatoria de la luz. Formuló una ley de la gravitación inversa al cuadrado de la distancia, posiblemente antes que Newton, aunque en una forma no tan perfeccionada. La lista sigue. Este hombre nos enseñó mucho acerca del mundo en que vivimos. Es en parte la preferencia de la teoría sobre el experimento lo que explica el motivo por el que es tan desconocido. Se debe también al hecho de que Boyle era noble, mientras que Hooke era pobre y autodidacta. La diferencia de categoría entre la teoría y el experimento se modela mediante el rango social.

Tal preferencia no es un una cuestión del pasado. Mi colega C.W.F. Everitt escribió sobre dos hermanos en el *Dictionary of Scientific Biography*. Ambos hicieron contribuciones fundamentales a nuestro entendimiento de la superconductividad. Fritz London (1900–1953) fue un distinguido físico teórico de bajas temperaturas. Heinz London (1907–1970) era un experi-

mentalista de bajas temperaturas que contribuyó a la teoría. Formaban un gran equipo. La biografía de Fritz fue bienvenida en el Diccionario, pero la de Heinz fue mandada de regreso para que se abreviara. El editor (en este caso Kuhn) mostró la preferencia usual por la teoría al experimento.

INDUCCIÓN Y DEDUCCIÓN

¿Qué es el método científico? ¿Qué es el método experimental? La pregunta no está correctamente planteada. ¿Por qué debería haber el método de la ciencia? No hay una única manera de construir una casa, o incluso de sembrar tomates. No deberíamos esperar que algo tan abigarrado como el crecimiento del conocimiento esté atado a una metodología.

Empecemos con dos metodologías. Parecen asignar papeles totalmente diferentes al experimento. Como ejemplos tomo dos enunciados, cada uno de ellos proferido por grandes químicos del siglo pasado. La división entre ellos no ha terminado: es precisamente lo que separa a Carnap y a Popper. Como mencioné en la introducción, Carnap trató de desarrollar una lógica inductiva, mientras que Popper insiste en que no hay más razonamiento que el deductivo. Aquí está mi formulación favorita del método inductivo:

> Los fundamentos de la filosofía química son la observación, el experimento y la analogía. Por medio de la observación los hechos se imprimen clara y minuciosamente en la mente. Mediante la analogía se conectan hechos similares. Por medio del experimento se descubren nuevos hechos; y así, en la progresión del conocimiento, la observación guiada por la analogía lleva al experimento, y la analogía confirmada por el experimento se torna en verdad de la ciencia.
>
> Para dar un ejemplo: quien ponga atención en los delicados filamentos vegetales verdes (*Conferva rivularis*) que se encuentran en los veranos en casi todos los ríos, lagos y lagunas, en condiciones muy diferentes de sombra y sol, descubrirá glóbulos de aire sobre los filamentos que están sombreados. Encontrará que el efecto se debe a la presencia de la luz. Esto es una *observación*; pero no da ninguna información respecto a la naturaleza del aire. Invirtamos un vaso lleno de agua sobre la *Conferva*, el aire se concentrará en la parte superior del vaso, y cuando el vaso se llena con aire, se tapa con la mano, se pone en su posición usual, y se introduce una cerilla encendida; la cerilla va a quemarse con más fuerza que en la atmósfera. Esto es un *experimento*. Si pensamos sobre el fenómeno y nos preguntamos si todos los vegetales de este tipo producen tal aire en condiciones similares, en agua dulce o salada, el investigador se guía por *analogía*: y cuando se determina por medio de nuevas pruebas que esto es así, *una verdad científica general* ha sido establecida: toda *Conferva* al sol

produce un tipo de aire que aviva la flama en mayor grado; algo que ha sido demostrado por una serie de cuidadosas investigaciones.

Ésas son las palabras con las que Humphry Davy (1778–1829) empieza su texto de química *Elements of Chemical Philosophy* (1812, pp. 2–3). Él fue uno de los químicos más hábiles de su tiempo, al que generalmente se le recuerda por la invención de la lámpara de seguridad para los mineros, que evitó la muerte cruel de muchos, pero cuyas contribuciones al conocimiento incluyen el análisis químico electrolítico, una técnica que le permitió determinar qué sustancias son elementos (por ejemplo el cloro) y cuáles son compuestos. No todos los químicos compartían la visión inductivista de la ciencia de Davy. Aquí están las palabras de Justus von Liebig (1803–1873), el gran pionero de la química orgánica, quien indirectamente revolucionó la agricultura al promover el uso de fertilizantes nitrogenados artificiales.

> En todas las investigaciones Bacon le otorga un gran valor a los experimentos. Pero no entiende su significado para nada. Piensa que son un tipo de mecanismo que una vez puesto en movimiento producirá un resultado propio. Pero en la ciencia toda investigación es deductiva o *a priori*. El experimento es sólo una ayuda al pensamiento, como un cálculo: el pensamiento debe siempre y necesariamente precederlo si va a tener algún significado. Una manera empírica de hacer investigación, en el sentido usual del término, no existe. Un experimento que no es precedido por una teoría, *i.e.* por una idea, mantiene la misma relación con la investigación científica que una sonaja con la música (*Über Francis Bacon von Verulam und die Methode der Naturforschung*, 1863, p. 49).

¿Qué tan profunda es la oposición entre las dos citas anteriores? Liebig dice que un experimento debe ser precedido por una teoría, esto es, por una idea. Pero este enunciado es ambiguo. Tiene una versión débil y una fuerte. La *versión débil* sólo dice que se tienen que tener algunas ideas acerca de la naturaleza y los aparatos antes de conducir un experimento. Una intervención totalmente desprovista de propósito, sin la habilidad de entender e interpretar el resultado, no nos enseña nada. Nadie disputa esta versión débil. Davy seguramente tenía alguna idea cuando llevó a cabo sus experimentos con algas. Él sospechaba que las burbujas de gas sobre los filamentos eran de cierto tipo específico. Una primera pregunta era si el gas alimentaba el fuego o lo extinguía. Encuentra que la cerilla se enciende (¿de lo que infiere que el gas es bastante rico en oxígeno?). Sin este entendimiento el experimento no tendría mucho sentido. La flama de la cerilla sería, a lo mucho, una observación sin sentido. Lo más probable es

que nadie le hubiera prestado atención. Experimentos sin ideas como ésta no son experimentos en lo absoluto.

Hay sin embargo una *versión fuerte* del enunciado de Liebig. Dice que un experimento es significativo sólo si se pone a prueba una teoría acerca de los fenómenos bajo escrutinio. Sólo si, por ejemplo, Davy tenía la idea de que la cerilla se apagaría (o que se encendería) sería valioso su experimento. Creo que esto es simplemente falso. Uno puede conducir un experimento por mera curiosidad, para ver qué pasa. Naturalmente, muchos de nuestros experimentos están hechos con conjeturas más específicas en mente. Así, Davy se pregunta si todas las algas del mismo tipo, ya sea en agua fresca o salada, producen este gas (que sin duda sospechaba que era oxígeno). Hace nuevas pruebas que lo llevan a una "verdad científica general".

No me interesa saber si Davy realmente estaba haciendo una inferencia inductiva, como Carnap podría haber dicho, o si está implícitamente siguiendo en el fondo la metodología de Popper de conjeturas y refutaciones. No es importante para nosotros que el ejemplo de Davy no sea, como él pensaba, una verdad científica. ¡Nuestra reclasificación de algas posterior a Davy muestra que las *Conferva* no son ni siquiera una clase natural! No hay tal género o especie.

Sólo me interesa la cuestión generada por la versión fuerte: ¿debe haber una conjetura puesta a prueba para que un experimento tenga sentido? Creo que no. Ni siquiera la versión débil está fuera de dudas. El físico George Darwin decía que uno debería hacer de vez en cuando un experimento totalmente loco, como sonarles una trompeta a los tulipanes cada mañana durante un mes. Tal vez nada va a pasar, pero si algo pasara, sería un descubrimiento estupendo.

¿QUÉ VIENE PRIMERO, LA TEORÍA O EL EXPERIMENTO?

No deberíamos despreciar la brecha generacional que existe entre Davy y Liebig. Tal vez la relación entre la teoría química y el experimento químico habían cambiado en los cincuenta años que separan las dos citas. Cuando Davy escribió, la teoría atómica de Dalton y otros se estaba apenas formulando, y el uso de modelos hipotéticos de estructuras químicas apenas empezaba. En la época de Liebig no se podía practicar la química descomponiendo compuestos eléctricamente o identificando gases dependiendo de si estimulaban la combustión. Sólo una mente llena de modelos teóricos podía empezar a resolver los misterios de la química orgánica.

Veremos que las relaciones entre teoría y experimento difieren en diferentes estadios de desarrollo, y que no todas las ciencias naturales pasan por los mismos ciclos. Si reflexionamos todo lo dicho hasta ahora puede parecer obvio, pero ha sido negado muchas veces, por Karl Popper, por ejemplo. Naturalmente, es de esperarse que Popper sea uno de los más decididos exponentes de la tendencia a preferir la teoría al experimento. Aquí está lo que él dice en *La lógica de la investigación científica*:

> El téorico le plantea ciertas preguntas definidas al experimentador, y este último trata, por medio de sus experimentos, de deducir una respuesta decisiva a estas preguntas, y no a otras. Trata de excluir cualquier otra pregunta [...] es un error pensar que el experimentador... [busca] "aliviar la tarea del teórico", o... sentar las bases para que el teórico realice generalizaciones inductivas. Por el contrario, el teórico ya debería haber hecho su trabajo, o por lo menos la parte más importante de éste: debe haber formulado ya sus preguntas de la manera más precisa posible. Es pues él quien le muestra el camino al experimentador. Pero aun el experimentador no está interesado sobremanera en hacer observaciones exactas; su trabajo es, en gran medida, de tipo teórico. La teoría domina el trabajo experimental desde su planeamiento inicial hasta los retoques finales en el laboratorio (p. 107).

Ésta era la idea de Popper en la edición de 1934 de su libro. En la edición bastante más desarrollada de 1959, agrega, en una nota a pie de página, que debería haber recalcado "la idea de que las observaciones, y más aún los enunciados observacionales, y los enunciados de resultados experimentales, son siempre *interpretaciones* de los hechos observados; que son *interpretaciones a la luz de teorías*". En una breve inspección inicial de las diferentes relaciones entre la teoría y el experimento, sería bueno empezar con los contraejemplos obvios de la idea de Popper. El experimento en el que Davy observa las burbujas de aire sobre las algas es uno. No era una "interpretación a la luz de teorías", ya que Davy inicialmente no tenía una teoría. Ni ver inflamarse la cerilla era una interpretación. Tal vez si él hubiera dicho "Ah, entonces es oxígeno", habría estado haciendo una interpretación. Pero eso no fue lo que hizo.

OBSERVACIONES DIGNAS DE ATENCIÓN (E)

La mayor parte del desarrollo temprano de la óptica, entre 1600 y 1800, dependió simplemente de hacer notar algún fenómeno sorprendente. Quizás el más fructífero de todos fue el descubrimiento de la doble refracción en

el espato o calcita de Islandia. Erasmo Bartholin (1625–1698) examinó algunos de estos hermosos cristales traídos de Islandia. Si se pusiera uno de estos cristales sobre esta página impresa, se verían dobles las letras. Todo el mundo sabía sobre la refracción ordinaria, y allá por 1689, cuando Bartholin hizo su descubrimiento, las leyes de la refracción eran ya muy conocidas, y los anteojos, el microscopio y el telescopio ya eran familiares. En este contexto el espato de Islandia es notable en dos niveles. Todavía hoy nos sorprendemos y nos deleitamos con esos cristales. Además había una sorpresa para el físico de aquel tiempo, quien conociendo las leyes de la refracción, se dio cuenta de que además del rayo ordinario refractado había otro rayo "extraordinario", como se lo llama todavía.

El espato de Islandia desempeña un papel fundamental en la historia de la óptica porque es el primer productor conocido de luz polarizada. El fenómeno fue entendido de una manera vaga por Huygens, quien propuso que el rayo extraordinario tenía una superficie elíptica, y no esférica. Sin embargo, nuestro entendimiento presente tuvo que esperar hasta que la teoría ondulatoria de la luz fuera revivida. Fresnel (1788–1827), el fundador de la teoría ondulatoria moderna, hizo un magnífico análisis en el que los dos rayos se describen mediante una misma ecuación cuya solución es una superficie de dos hojas del cuarto grado. La polarización nos lleva una y otra vez, cada vez más lejos, hacia un entendimiento teórico de lo que es la luz.

Hay una serie de observaciones "sorprendentes". Grimaldi (1613–1663) y después Hooke examinaron cuidadosamente algo que todos sabemos vagamente: que hay algo de iluminación en la sombra de un cuerpo opaco. Las observaciones cuidadosas revelaron bandas regularmente espaciadas en la orilla de la sombra. Esto se llama difracción, que originalmente quería decir que la luz de esas bandas se "rompía en pedazos". Estas observaciones precedieron a la teoría de una manera característica. Sucedió lo mismo con la observación de Newton de la dispersión de la luz y con el trabajo de Hooke y Newton sobre los colores en placas delgadas. Esto llevó a que los fenómenos de interferencia se llamaran anillos de Newton. La primera explicación cuantitativa de este fenómeno fue dada sólo un siglo más tarde, en 1802, por Thomas Young (1773–1829).

Por supuesto que Bartholin, Grimaldi, Hooke y Newton no eran empiristas insensatos sin ninguna idea en la cabeza. Ellos vieron lo que vieron porque eran curiosos, inquisitivos, gente reflexiva. Estaban tratando de formar teorías. Pero en todos estos casos está claro que las observaciones precedieron a cualquier formulación teórica.

LA ESTIMULACIÓN DE LA TEORÍA (E)

Más tarde encontramos observaciones similares dignas de atención que estimulan teorías. Por ejemplo en 1808 fue descubierta la polarización por reflexión. Un coronel del cuerpo de ingenieros de Napoleón, E.L. Malus (1775–1812), experimentaba con espato de Islandia cuando notó los efectos de la luz del atardecer que se reflejaba en las ventanas del cercano Palacio de Luxemburgo. La luz atravesaba el cristal cuando éste se mantenía en un plano vertical, pero se bloqueaba cuando el cristal estaba en un plano horizontal. Similarmente, John Herschel (1792–1871) fue el primero en notar la fluorescencia en 1845, cuando empezó a ponerle atención a la luz azul emitida por una solución de sulfato de quinina iluminada de cierta manera.

Las observaciones dignas de atención, por su misma naturaleza, deben ser sólo el principio. ¿Podríamos aceptar que hay observaciones iniciales que preceden a la teoría, y aun así sostener que toda experimentación deliberada está dominada por la teoría, como Popper dice? Creo que no. Considérese a David Brewster (1781–1868), un experimentador prolífico en su tiempo pero ahora totalmente olvidado. Brewster fue una de las figuras más importantes en la óptica experimental entre 1810 y 1840. Determinó las leyes de la reflexión y la refracción para la luz polarizada. Fue capaz de inducir birrefringencia (*i.e.* propiedades de polarización) en cuerpos sujetos a tensión. Descubrió la refracción doble biaxial y dio los primeros pasos fundamentales hacia las complejas leyes de reflexión sobre metales. Actualmente hablamos de las leyes de Fresnel, las leyes del seno y de la tangente para la intensidad de la luz polarizada reflejada, pero Brewster las publicó en 1818, cinco años antes de que Fresnel las tratara dentro de su teoría ondulatoria. El trabajo de Brewster estableció las bases para muchos desarrollos posteriores de la teoría ondulatoria. En tanto que tenía alguna concepción teórica, Brewster era un newtoniano convencido que creía que los rayos consistían en corpúsculos. Brewster no contrastaba o comparaba teorías. Tan sólo trataba de averiguar cómo se comporta la luz.

Brewster se adhirió firmemente a la teoría "equivocada" al tiempo que creaba los fenómenos experimentales que sólo podemos entender con la teoría "correcta", teoría que él reiteradamente rechazó. No "interpretó" sus resultados experimentales a la luz de su teoría equivocada. Hizo algunos fenómenos que toda teoría debería explicar. Brewster no es una excepción. Un experimentador más reciente fue R.W. Wood (1868–1955), quien durante 1900 y 1930 hizo contribuciones fundamentales a la óptica cuántica, sin tener casi ningún conocimiento de la teoría y siendo un escéptico acerca

de la mecánica cuántica. Radiación de resonancia, fluorescencia, espectros de absorción, espectros Raman: todo ello requiere un entendimiento de la mecánica cuántica, pero la contribución de Wood no surgió de la teoría, sino como la de Brewster, surgió de una habilidad especial para hacer que la naturaleza se comporte de nuevas maneras.

FENÓMENOS SIN SENTIDO

No pretendo sostener que las observaciones dignas de atención hagan algo por sí mismas. Muchos fenómenos causan gran expectativa, pero tienen que abandonarse porque nadie puede llegar a entender qué significan, cómo se conectan con otras cosas o cómo pueden utilizarse para algún fin. En 1827 un botánico, Robert Brown, escribió acerca del movimiento irregular del polen suspendido en el agua. Este movimiento browniano había sido observado por otros incluso 60 años antes; algunos pensaron que era la acción vital del polen mismo. Brown hizo observaciones cuidadosas sin llegar a nada. Hasta la primera década de este siglo el trabajo simultáneo de varios experimentadores, como J. Perrin, y teóricos, como Einstein, mostró que el polen se movía por los choques con las moléculas cercanas. Estos resultados convencieron finalmente incluso a los escépticos más radicales de la teoría cinética de los gases.

Una historia similar puede contarse respecto al efecto fotoeléctrico. En 1839 A.C. Becquerel notó algo muy curioso. Tenía una pequeña pila electrovoltaica, esto es, un par de placas de metal sumergidas en una solución de ácido diluido. La iluminación de una de las placas cambiaba el voltaje de la pila. Durante un periodo de alrededor de dos años esto atrajo la atención de muchos. Se notaron otros fenómenos aislados. Así, la resistencia del metal selenio decrecía cuando se iluminaba (1873). Otra vez, Einstein averiguó lo que pasaba; a esto le debemos la teoría del fotón y una gran cantidad de aplicaciones muy conocidas, incluyendo la televisión (en la que células fotoeléctricas convierten la luz reflejada de un objeto en corrientes eléctricas).

No pretendo, pues, sostener que el trabajo experimental existe independientemente de la teoría. Esto sería el trabajo ciego de aquellos "simples empíricos" de los que Bacon se burlaba. Lo que sigue siendo cierto es que una gran cantidad de investigación fundamental precede a cualquier teoría importante.

ENCUENTROS FELICES

A veces hay trabajos experimentales profundos que la teoría genera en su totalidad. Algunas teorías importantes salen del experimento preteórico. Algunas teorías languidecen por falta de conexiones con el mundo real, mientras que algunos experimentos no tienen nada que hacer por falta de teoría. Hay también familias felices, en las que teorías y experimentos provenientes de diferentes direcciones se encuentran. Voy a dar un ejemplo en el que la dedicación a una curiosidad experimental condujo a un hecho firme que repentinamente fue relacionado con teorías provenientes de una tradición muy diferente.

En los primeros días de la radio trasatlántica había mucha estática. Muchas fuentes del ruido podían identificarse, aunque no se podían suprimir. Algunos ruidos provenían de tormentas eléctricas. Incluso en la década de 1930, Karl Jansky, de los Laboratorios Telefónicos Bell, había localizado un "zumbido" proveniente del centro de la Vía Láctea. Había, pues, fuentes de radioenergía en el espacio que contribuían a la estática conocida.

En 1965 los radioastrónomos Arno Penzias y R.W. Wilson adaptaron un radiotelescopio para estudiar este fenómeno. Esperaban poder detectar fuentes de energía, y así fue. Pero también fueron muy diligentes. Encontraron una pequeña cantidad de energía que parecía estar en todas partes del espacio, distribuida uniformemente. Sería como si todo en el espacio que no fuera una fuente de energía estuviera a una temperatura de 4°K. Como esto no tenía mucho sentido, hicieron lo posible por encontrar errores instrumentales. Por ejemplo, pensaron que parte de esta radiación podría provenir de las palomas que tenían su nido en el telescopio, y pasaron un rato molesto tratando de deshacerse de las palomas. Pero después de eliminar todas las fuentes posibles de ruido, todavía se quedaron con una temperatura uniforme de 3°K. No se atrevían a publicar este resultado porque una radiación totalmente homogénea de fondo no tenía mucho sentido.

Afortunadamente, justo cuando se convencieron de este fenómeno sin sentido, un grupo de teóricos de Princeton hizo circular un manuscrito que sugería, de una manera cualitativa, que si el universo se había originado en una gran explosión (big-bang), debería haber una temperatura uniforme en todo el espacio, la temperatura residual de la explosión primera. Es más, esta energía debería ser detectable en forma de señales de radio. El trabajo experimental de Penzias y Wilson concordaba perfectamente con lo que de otra manera hubiera sido pura especulación. Penzias y Wilson habían mostrado que la temperatura del universo es, casi en todas partes, cercana a los tres grados sobre el cero absoluto; ésta es la energía residual de la

creación. Fue la primera razón verdaderamente convincente para creer en el big-bang.

Se dice a veces que en la astronomía no se hacen experimentos; sólo podemos observar. Es verdad que no podemos interferir mucho en los confines del espacio, pero las habilidades empleadas por Penzias y Wilson son idénticas a las que utilizan los experimentadores de laboratorios. ¿Debemos decir con Popper, a la luz de esta historia, que en general "el teórico ya debería haber hecho su trabajo, o por lo menos la parte más importante de su trabajo: debe haber formulado ya sus preguntas de la manera más precisa posible. Es el teórico quien le muestra el camino al experimentador"? ¿O deberíamos decir que si bien algo de teoría precede a algunos experimentos, algunos experimentos y algo de observación preceden a la teoría, y pueden tener una larga vida autónoma? La familia feliz que he descrito es la intersección de la teoría y la observación hábil. Penzias y Wilson están entre aquellos pocos experimentadores en la física que han recibido un premio Nobel. No lo obtuvieron por refutar algo, sino por la exploración del universo.

HISTORIA DE LA TEORÍA

Puede parecer exagerada mi formulación de la manera como una historia y una filosofía de la ciencia dominadas por la teoría han distorsionado nuestra percepción del experimento. En realidad no la he enunciado con la fuerza que debería. Por ejemplo, he contado la historia de los tres grados tal y como la han contado Penzias y Wilson en su película autobiográfica *Tres grados*.[1] Ellos exploraban y en el proceso encontraron la radiación uniforme de fondo antes de cualquier teoría sobre ella. Pero ahora veremos lo que le sucede a este experimento cuando se vuelve "historia":

> Los astrónomos teóricos habían predicho que, de haber habido una explosión hace miles de millones de años, debió darse un proceso de enfriamiento que continúa desde entonces. El grado de enfriamiento debió reducir la temperatura original de aproximadamente mil millones de grados a 3°K —tres grados sobre el cero absoluto.
>
> *Los radioastrónomos creían que de poder enfocar un receptor altamente sensible a una parte vacía del cielo, una región que pareciera estar vacía, podría determinarse si los teóricos estaban o no en lo correcto.* Esto se hizo a principios de los años setenta. Dos científicos del Laboratorio Bell (el mismo lugar donde Karl Jansky había descubierto las ondas de radio cósmicas)

[1] Information and Publication Division, Bell Laboratories, 1979.

recogieron las señales de radio del espacio "vacío". Después de eliminar todas las otras causas posibles de las señales, todavía quedaba una señal de 3° que no podían explicar. Desde este primer experimento otros han sido llevados a cabo. Siempre producen el mismo resultado: 3° de radiación.

El espacio no es totalmente frío. La temperatura del universo parece ser de 3°K. Ésta es exactamente la temperatura que el universo debería tener si todo hubiera empezado hace 13 mil millones de años, con el big-bang.[2]

Hemos visto otro ejemplo de cómo se reescribe la historia en el caso del muón o mesón descrito en el capítulo 6. Dos grupos de trabajadores detectaron el muón sobre la base de estudios de rayos cósmicos en la cámara de burbujas, junto con la fórmula para la pérdida de la energía de Bethe-Heitler. La historia ahora nos cuenta que ellos estaban en realidad buscando el "mesón" de Yukawa, y que incorrectamente creyeron haberlo hallado —cuando de hecho nunca habían oído hablar de la conjetura de Yukawa. No quiero implicar que un historiador competente de la ciencia pueda llegar a deformar a tal grado la historia, sino más bien hacer ver el empuje constante de la historia popular y el folklore.

AMPÈRE, EL TEÓRICO

No debe pensarse que en una nueva ciencia el experimento y la observación preceden a la teoría, aunque más tarde la teoría va a preceder a la observación. A.M. Ampère (1775–1836) es un muy buen ejemplo de un gran científico que empezó sobre una base teórica. Él había trabajado particularmente en química, y había producido modelos complejos de átomos que utilizaba para explicar y desarrollar investigaciones experimentales. No tuvo mucho éxito en esto, si bien fue uno de los que, independientemente, alrededor de 1815, se dieron cuenta de lo que ahora llamamos la ley de Avogadro, que dice que volúmenes iguales de gases a iguales temperaturas y presiones tendrán el mismo número de moléculas, independientemente del tipo de gas. Como ya vimos en el capítulo 7, Ampère admiraba mucho a Kant, e insistía en que la ciencia teórica era el estudio de los noúmenos detrás de los fenómenos. Formamos teorías acerca de las cosas en sí, los noúmenos, y tenemos, por lo tanto, la capacidad de explicar los fenómenos. Esto no era exactamente lo que Kant tenía en mente, pero eso no importa. Ampère era un teórico cuyo momento culminante fue el 11 de septiembre

[2] F.M. Bradley, *The Electromagnetic Spectrum*, Nueva York, 1979, p. 100 (el subrayado es mío).

de 1820. En esta fecha vio una demostración de Øersted de cómo la aguja de una brújula se movía debido a una corriente eléctrica. El 20 de septiembre Ampère principió un curso semanal sobre los fundamentos de la teoría del electromagnetismo. Desarrollaba la teoría conforme exponía.

En todo caso, ésta es la historia. C.W.F. Everitt ha señalado que debe haber algo más que esto, y que Ampère, sin tener una metodología poskantiana oficial propia, escribió su trabajo para llenar este hueco. El gran experimentador y teórico del electromagnetismo, James Clerk Maxwell, escribió una comparación de Ampère y Michael Faraday, pupilo de Humphry Davy, elogiando tanto al "inductivista" Faraday, como al "deductivista" Ampère. Describió la investigación de Ampère como "uno de los logros más brillantes de la ciencia [...] perfecto en la forma, insuperable en exactitud [...] resumida en una fórmula de la que todos los fenómenos podían deducirse". Pero luego continúa diciendo que mientras que los trabajos de Faraday revelan cándidamente el trabajo de su mente,

> es muy difícil creer que Ampère realmente descubrió la ley de la acción, por lo menos mediante los experimentos que él describe. Esto nos hace sospechar que, como él mismo nos lo dice, descubrió la ley por un proceso que no nos ha mostrado, y que, después de haber construido una demostración perfecta, removió todos los rastros de los andamios por medio de los cuales la construyó.

Mary Hesse señala, en *The Structure of Scientific Inference* (pp. 201s, 262), que Maxwell llamó a Ampère el Newton de la electricidad. Esto hace alusión a una tradición alternativa acerca de la naturaleza de la inducción, la cual se remonta a Newton. él hablaba de la deducción a partir de los fenómenos, y decía que era un proceso inductivo. De los fenómenos inferimos proposiciones que los describen de una manera general, que nos permiten, después de reflexionar, la creación de nuevos fenómenos que hasta entonces no habíamos pensado. En todo caso así era como Ampère procedía. Por lo general empezaba una de sus clases semanales con un fenómeno que demostraba frente al auditorio. A menudo, el experimento que creaba el fenómeno aún no existía al final de la clase anterior.

INVENCIÓN (E)

Una pregunta que se formula en términos de la teoría y el experimento es engañosa porque trata la teoría como una clase de cosa más bien uniforme y al experimento como otra. En el capítulo 12 examino las variedades de la

teoría. Hemos visto algunas variedades de experimento, pero hay otras categorías relevantes, una de las más importantes es la invención. La historia de la termodinámica es una historia de invenciones prácticas que gradualmente llevaron a un análisis teórico. Una manera de desarrollar nueva tecnología es elaborar una teoría y su experimento que a su vez se aplican a problemas prácticos. Otra manera es cuando las invenciones se desarrollan siguiendo su propio ritmo práctico y la teoría se deriva de manera indirecta. El ejemplo más obvio es el mejor: la máquina de vapor.

Hubo tres fases de la invención y varios conceptos experimentales. Las invenciones son la máquina atmosférica de Newcomen (1709–1715), la máquina de condensación de Watt (1767–1784) y la máquina de alta presión de Trevithick (1798). Detrás de la mitad de los desarrollos posteriores de la invención original de Newcomen estaba un concepto que era tanto económico como físico, el del "trabajo" de la máquina, esto es, la cantidad de metros-kilogramos de agua que se bombeaban con una fanega de carbón mineral. No se sabe a quién se le ocurrió la idea. Muy probablemente no fue alguien registrado en la historia de la ciencia, sino la mentalidad práctica de los capataces de las minas de Cornualles acostumbrados a estimar los beneficios que obtendrían; ellos se dieron cuenta de que algunas máquinas bombeaban con más eficiencia que otras y no veían por qué debían quedarse atrás cuando la mina vecina tenía mejores resultados. Al principio, el éxito de la máquina de Newcomen era incierto porque, excepto en minas profundas, era sólo ligeramente más barata de operar que las bombas movidas por caballos. El logro de Watt, después de diecisiete años de pruebas y errores, fue la producción de una máquina que garantizaba rendir por lo menos cuatro veces más que la mejor máquina de Newcomen (imagínese un nuevo automóvil en el mercado que tiene la misma potencia que los actuales pero que es capaz de recorrer 40 km por litro en lugar de 10).

Watt primero introdujo el condensador separado, y después hizo la máquina de doble acción, esto es, dejó entrar vapor en un lado del cilindro mientras que hacía vacío en el otro. Finalmente, en 1782 introdujo el principio del trabajo expansivo, que consiste en detener el flujo de vapor en el cilindro en un momento temprano del recorrido, y dejar que se expanda el resto de la carrera del émbolo por su propia presión. El trabajo expansivo significaba algo de pérdida de potencia para una máquina de cierto tamaño, pero un aumento en el "trabajo" total. La más importante de estas ideas para la ciencia pura fue la del trabajo expansivo. Algo muy útil para el trabajo práctico, diseñado alrededor de 1790 por el asociado de Watt, James Southern, fue el *diagrama indicador*. El indicador era un mecanismo

automático que se le podía adaptar a la máquina para trazar una curva que describía la presión en el cilindro con respecto al volumen medido de la carrera: el área de la curva así trazada era una medida del trabajo hecho en cada carrera. El indicador se utilizaba para afinar la máquina a la máxima eficiencia. Precisamente este diagrama se incorporó en el ciclo de Carnot de la termodinámica teórica.

La gran contribución de Trevithick fue más bien una cuestión de valor que de teoría, pues se atrevió a construir una máquina de alta presión a pesar del riesgo de una explosión. La primera ventaja de una máquina de alta presión es la reducción del tamaño: se puede obtener más potencia de una máquina más pequeña. Trevithick construyó la primera locomotora exitosa en 1799. Pronto surgió otro resultado. Si la máquina de alta presión se hacía funcionar expansivamente deteniendo en una fase temprana el flujo de vapor, su "trabajo" era mayor (finalmente mucho mayor) que la mejor de las máquinas de Watt. Se requirió el genio de Sadi Carnot (1796–1832) para entender realmente este fenómeno y ver que la ventaja de la máquina de alta presión no sólo tiene que ver con la presión, sino también con la elevación del punto de ebullición del agua mediante la presión. La eficiencia de la máquina no depende de diferencias de presión, sino de la diferencia de la temperatura del vapor que entra al cilindro y la del vapor expandido que deja el cilindro. Así nació el ciclo de Carnot, el concepto de la eficiencia termodinámica, y finalmente, cuando las ideas de Carnot se unificaron con el principio de la conservación de la energía, la ciencia de la termodinámica.

¿Qué significa en realidad "termodinámica"? El tema no trata de análisis de los flujos de calor, que pueden llamarse dinámica, sino de lo que podemos llamar fenómenos termostáticos. ¿Se le ha dado un nombre inapropiado? No. Kelvin introdujo el término de "máquina termodinámica" en 1850 para describir cualquier máquina como la máquina de vapor o la máquina ideal de Carnot. Estas máquinas eran llamadas dinámicas porque convertían el calor en trabajo. Así, la palabra "termodinámica" nos recuerda que esta ciencia surgió del análisis profundo de una sucesión notable de invenciones. El desarrollo de esa tecnología requirió una gran cantidad de "experimento", pero no en el sentido de contrastación popperiana de teorías, ni en el sentido de la inducción de Davy. Los experimentos eran intentos imaginativos requeridos para la perfección de la tecnología que se encuentra en el centro de la revolución industrial.

UN SINNÚMERO DE LEYES EXPERIMENTALES EN ESPERA DE UNA TEORÍA (E)

El libro *Theory of the Properties of Metals and Alloys* (1936) es un texto estándar, cuyos distinguidos autores, N.F. Mott y H. Jones, examinan, entre otras cosas, la conducción de la electricidad y el calor en diversas sustancias metálicas. ¿Qué es lo que debe abarcar una teoría aceptable sobre este tema? Mott y Jones dicen que una teoría de la conductividad metálica tiene que explicar, entre otros, los siguientes resultados experimentales:

(1) La ley de Wiedemann-Franz, según la cual la razón de la conductividad térmica respecto a la eléctrica es igual a LT, donde T es la temperatura absoluta y L una constante, que es la misma para todos los metales.

(2) La magnitud absoluta de la conductividad eléctrica de un metal puro, y cómo esto depende del lugar que ocupa el metal en la tabla periódica; por ejemplo, las altos valores de conductividad de los metales monovalentes y los pequeños valores de los metales de transición.

(3) Los incrementos relativamente grandes en la resistencia debidos a las pequeñas cantidades de impurezas en la solución sólida, y la regla de Matthiessen, que establece que los cambios de resistencia debidos a pequeñas cantidades de metales extraños en una solución sólida son independientes de la temperatura.

(4) La dependencia de la resistencia a la temperatura y la presión.

(5) El surgimiento de la supraconductividad [superconductividad].

Mott y Jones añaden que "con la excepción de (5), la teoría de la conductividad basada en la mecánica cuántica ha permitido por lo menos un entendimiento cualitativo de estos resultados" (p. 27) (en 1957 finalmente se llegó a una explicación de la superconductividad en el marco de la mecánica cuántica).

Los resultados experimentales de esta lista se establecieron mucho antes de que hubiera una teoría en la que encajaran. La ley de Wiedemann-Franz (1) fue formulada en 1853, la regla de Matthiessen en 1862 (3), las relaciones entre conductividad y la posición en la tabla periódica en 1890 (2) y la superconductividad (5) en 1911. Los datos estaban todos allí; lo que se necesitaba era una teoría que los relacionara. La diferencia de este caso con los de la óptica y la termodinámica es que la teoría no provino directamente de los datos, sino de ideas mucho más generales acerca de la estructura atómica. La mecánica cuántica fue a la vez el estímulo y la solución. Nadie

sugeriría que la organización de las leyes fenomenológicas dentro de la teoría general es una mera cuestión de inducción, analogía o generalización. La teoría ha sido, al final, crucial para el conocimiento, para el crecimiento del conocimiento y por sus aplicaciones. Dicho esto, no pretendamos que las diversas leyes fenomenológicas de la física del estado sólido requieran una teoría —cualquier teoría— antes de que se conozcan. La experimentación tiene muchas vidas propias.

¿DEMASIADOS EJEMPLOS?

Después de esta andanada baconiana de ejemplos de las diferentes relaciones entre la teoría y el experimento, parece que no pueden hacerse enunciados generales al respecto. Esto es ya un logro, porque como las citas de Davy y Liebig muestran, cualquier visión unilateral del experimento está seguramente equivocada. Procedamos ahora hacia fines positivos. ¿Qué es una observación? ¿Vemos la realidad a través de un microscopio? ¿Hay experimentos cruciales? ¿Por qué la gente se dedica a la medición de unas cuantas cantidades cuyo valor, al menos de tres decimales, no tiene ningún interés intrínseco para la teoría o para la tecnología? ¿Hay algo en la naturaleza de la experimentación que convierte a los experimentadores en realistas científicos? Empecemos por el principio. ¿Qué es una observación? ¿Cada observación en la ciencia está cargada de teoría?

10

LA OBSERVACIÓN

Varios hechos de sentido común acerca de la observación han sido distorsionados por dos modas filosóficas. Una es la moda de lo que Quine llama el ascenso semántico (no hablemos acerca de las cosas, sino de la manera como hablamos de las cosas). La otra consiste en la dominación del experimento por la teoría. La primera dice que no debemos pensar acerca de la observación, sino acerca de enunciados observacionales —las palabras que se usan para informar acerca de observaciones. La segunda dice que cada enunciado observacional está cargado de teoría —no hay observación antes de la teoría. Así pues, es mejor empezar con unos cuantos lugares comunes que no son teóricos ni lingüísticos.

1. La observación, como fuente primaria de datos, ha sido siempre una parte de la ciencia natural, pero no muy importante. Aquí me refiero a la concepción de la observación de los filósofos: la idea de que el experimentador se pasa la vida haciendo las observaciones que proporcionan los datos para la contrastación de teorías, o sobre los cuales se construyen las teorías. Este tipo de observación desempeña un papel relativamente pequeño en la mayoría de los experimentos. Algunos grandes experimentadores han sido malos observadores. Muchas veces la tarea experimental, y la prueba de ingenio e incluso de grandeza, no es tanto observar e informar, sino construir una pieza de equipo que muestre un fenómeno de una manera confiable.

2. Existe, sin embargo, un tipo de observación más importante, pero al que se le presta menor atención, y que es esencial para la experimentación fina. Con frecuencia el buen experimentador sabe observar y se da cuenta de sutilezas instructivas o de inesperados resultados de este o aquel equipo o pieza del equipo. El aparato no va a funcionar a menos que uno sea observador. A veces, la atención persistente puesta en una rareza que otro experimentador de menor talento hubiera descartado es precisamente lo que lleva a un conocimiento novedoso. Pero esto no

es tanto una cuestión de la "observación como informe de lo que se ve" que plantean los filósofos, como del sentido de la palabra que usamos cuando decimos que alguien es buen observador y otro no.

3. Las observaciones dignas de atención, como las descritas en el capítulo anterior, han sido a veces esenciales para iniciar una investigación, pero rara vez dominan el trabajo posterior. La experimentación supera a la observación cruda.
4. La observación es una habilidad. Algunas personas son en eso mejores que otras. Por lo general se puede mejorar esta habilidad con entrenamiento y práctica.
5. Hay numerosas distinciones entre observación y teoría. La idea filosófica de "enunciado observacional" puro ha sido criticada sobre la base de que todos los enunciados están cargados de teoría. Ésta es una manera equivocada de abordar el tema. Hay muchos enunciados observacionales preteóricos, pero muy pocas veces aparecen en los anales de la ciencia.
6. Si bien existe el concepto de "ver a simple vista", los científicos rara vez se restringen a observar de esta manera. Por lo general observamos objetos o sucesos con instrumentos. Las cosas que se "ven" en la ciencia del siglo veinte muy pocas veces pueden verse directamente sin ayuda de aparatos.

SE HA SOBREVALUADO LA OBSERVACIÓN

Una buena parte del debate acerca de la observación, los enunciados observacionales y la observabilidad se debe a la herencia positivista. Antes del positivismo, la observación no era un tema central. Francis Bacon es el primer filósofo de las ciencias inductivas. Es de esperarse que diga mucho acerca de observaciones. De hecho ni siquiera usa la palabra. El positivismo no había cuajado.

La palabra "observación" era usual en inglés cuando Bacon escribió, y se aplicaba sobre todo a las observaciones de la altitud de objetos celestes, tales como el Sol. Así, desde el principio la observación estaba asociada con el uso de instrumentos. Bacon utilizaba un término general del arte, frecuentemente traducido por medio de la curiosa frase de *instancias prerrogativas*. En 1620 daba una lista de 27 tipos diferentes de instancias que incluía lo que ahora llamamos experimentos cruciales y que él llamaba instancias cruciales o, más correctamente, instancias de encrucijada (*ins-*

tantiae crucis). Algunas de las 27 instancias de Bacon son observaciones preteóricas dignas de atención. Otras están motivadas por un deseo de contrastar teorías. Algunas están hechas con instrumentos que "favorecen la acción inmediata de los sentidos". Éstas incluyen no sólo los nuevos microscopios y el telescopio de Galileo, sino también "varillas, astrolabios y similares; que no aumentan el sentido de la vista, pero lo rectifican y lo dirigen". Bacon continúa "evocando" los instrumentos que "reducen lo no sensible a lo sensible; esto es, que hacen manifiestas las cosas que no son directamente perceptibles, por medio de otras que lo son" (*Novum Organum*, secs. XXI–LII).

Bacon, pues, conocía ya la diferencia entre lo que es directamente perceptible y aquellos sucesos invisibles que sólo pueden ser "evocados". La distinción es para Bacon obvia e importante. Hay evidencia de que esto es realmente importante hasta después de 1800, cuando la misma concepción de "ver" sufre una transformación. Después de 1800, ver es ver la superficie opaca de las cosas, y todo el conocimiento debe derivarse de allí. Éste es el principio tanto del positivismo como de la fenomenología. Aquí sólo nos interesa el primero. Al positivismo le debemos la necesidad de distinguir tajantemente entre inferencia y ver a simple vista (o cualquier otro sentido sin ayuda alguna).

LA OBSERVACIÓN POSITIVISTA

Recordemos que el positivista está en contra de las causas, en contra de las explicaciones, en contra de las entidades teóricas y en contra de la metafísica. Lo real se restringe a lo observable. Con una aprehensión firme de la realidad observable el positivista puede hacer lo que quiera con el resto.

Lo que quiere para el resto depende de cada caso. A los positivistas lógicos les gustaba la idea de utilizar la lógica para "reducir" los enunciados teóricos, de tal manera que la teoría se convierte en una taquigrafía lógica para expresar hechos y organizar los pensamientos acerca de lo que puede observarse. En una versión esto llevaría a un realismo débil: las teorías pueden ser verdaderas, y las entidades de los que hacen mención pueden existir, en tanto que nadie se tome esta manera de hablar literalmente.

En otra versión de la reducción lógica, puede mostrarse que los términos que se refieren a las entidades teóricas, una vez que son sometidos a análisis, no poseen la estructura lógica de términos referenciales. Puesto que no son referenciales, no se refieren a nada, y las entidades teóricas no son reales. Este uso de la reducción lleva a un antirrealismo bastante estricto. Pero como

nadie ha hecho una reducción lógica de ninguna ciencia natural interesante, tales cuestiones son fútiles.

El positivista entonces toma otro camino. Puede decir con Comte o con van Fraassen que los enunciados teóricos deben entenderse literalmente, pero que no se debe creer en ellos. En *La imagen científica*, van Fraassen lo pone así: "La propuesta de una nueva teoría por un científico la ve el realista como si afirmara (la verdad de) el postulado. Pero el antirrealista ve al científico como si desplegara esa teoría, exhibiéndola, por así decirlo, mientras sostiene que la teoría tiene ciertas virtudes" (p. 27). Una teoría puede aceptarse porque da cuenta de los fenómenos y ayuda en la predicción. Puede aceptarse debido a sus virtudes pragmáticas sin que se crea que es verdadera.

Positivistas como Comte, Mach, Carnap o van Fraassen insisten de estas diferentes formas en que hay una distinción entre teoría y observación. Así es como ellos se aseguran de que el mundo se salve de los ataques de la metafísica.

LA NEGACIÓN DE LA DISTINCIÓN

Una vez que la distinción entre la observación y la teoría se hizo tan importante, era seguro que iba a ser rechazada. Hay dos razones para esto. Una es conservadora y realista en sus tendencias. La otra es radical, más romántica, y a menudo se inclina hacia el idealismo. Hubo una explosión de estos dos tipos de respuesta alrededor de 1960.

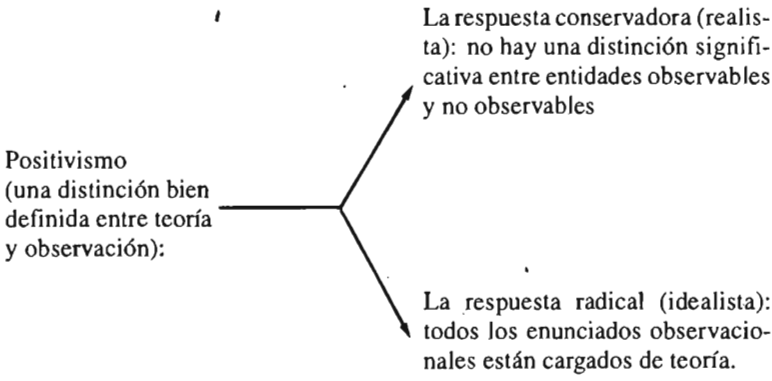
Grover Maxwell ejemplifica la respuesta realista. En un escrito de 1962 dice que el contraste entre un ente observable y un ente teórico es vago. Frecuentemente depende de la tecnología más que de algo propio de la constitución del mundo.[1] Continúa diciendo que la distinción no es tampoco tan importante en las ciencias naturales. No podemos usarla para argüir que las entidades teóricas realmente no existen.

En particular Maxwell dice que hay un continuo que empieza con ver a través del vacío. Después viene ver a través de la atmósfera; posteriormente ver mediante un microscopio luminoso. Actualmente este continuo podría terminar con el tipo de ver que utiliza un microscopio electrónico. Objetos

[1] G. Maxwell, "The Ontological Status of Theoretical Entities", *Minnesota Studies on the Philosophy of Science*, no. 3, 1962, pp. 3–27. [Traducción castellana en la antología compilada por L. Olivé y A. Pérez Ransanz, *Filosofía de la ciencia: teoría y observación*, Siglo XXI–UNAM, 1989.]

como los genes, que antes eran meramente teóricos, se transforman en entidades observables. Ahora vemos grandes moléculas. Así, la capacidad de ser observable no es una manera satisfactoria de distinguir los objetos que son reales de los que no lo son en la ciencia.

El caso de Maxwell no se ha cerrado. Deberíamos prestarle más atención a la misma tecnología que él acepta. Esto es lo que trataré de hacer en el próximo capítulo sobre microscopios. Estoy de acuerdo con Maxwell en que se debe restar importancia a la visibilidad como base de la ontología. En un escrito que examinaré más adelante en este capítulo, Dudley Shapere hace notar que los físicos regularmente hablan de observar, e incluso de ver, cuando utilizan aparatos en los que ni el ojo ni ningún otro órgano sensorial pueden desempeñar un papel esencial. Según el ejemplo que utiliza, tratamos de observar el interior del Sol mediante los neutrinos emitidos por procesos de fusión solar. Lo que cuenta como una observación, nos dice, depende de la teoría en uso. Volveré a este tema, pero primero debemos examinar el rechazo más atrevido (y tendiente al idealismo) de la distinción entre teoría y observación. Maxwell decía que la observabilidad de las *entidades* no tiene nada que ver con su *status* ontológico. Otros filósofos, al mismo tiempo, decían que no hay enunciados puramente observacionales porque todos están infectados de teoría. Considero esto una tendencia idealista porque hace depender el contenido mismo de cualquier enunciado científico de la manera como pensamos, más que de una realidad independiente de la mente. Podemos poner esas diferencias en un diagrama como sigue:



CARGADO DE TEORÍA

En 1959 N.R. Hanson acuñó la expresión "cargado de teoría" en su espléndido libro *Patterns of Discovery*. La idea es que cada término y enunciado observacional lleva supuestamente consigo una carga de teoría.

Un hecho acerca del lenguaje tiende a dominar aquellas partes de *Patterns of Discovery* en el que figura la expresión "cargado de teoría". Nos recuerda que hay reglas lingüísticas muy sutiles acerca de las palabras más comunes; por ejemplo, acerca del verbo "herir" y el sustantivo "herida". Sólo algunas cortadas, heridas, etcétera, en situaciones de tipos bastante específicos cuentan como heridas. Si un cirujano describe una cortada larga y profunda en la pierna de un hombre como herida, esto puede implicar que el hombre fue herido en una batalla o en una pelea. Estas implicaciones son muy comunes, pero no vale la pena, en mi opinión, llamarlas suposiciones teóricas. Esta parte de la doctrina de la carga teórica es una aseveración importante y nada excepcional acerca del lenguaje ordinario. De ninguna manera implica que todos los informes observacionales deban llevar una carga teórica.

Hanson también hace notar que tendemos a darnos cuenta de las cosas cuando tenemos expectativas, por lo general teóricas, que hacen que estas cosas sean interesantes, o por lo menos que tengan sentido. Esto es correcto, pero es diferente de la doctrina de la carga teórica que paso a examinar. Pero primero me ocuparé de algunas ideas más dudosas.

LA OBSERVACIÓN EN LAKATOS

Lakatos, por ejemplo, dice que el tipo más simple de falsacionismo —el tipo que se le atribuye comúnmente a Popper— no funciona porque asume una distinción entre teoría y observación. No puede aceptarse la regla simple acerca de teorías que dice que la gente las propone y la naturaleza dispone. Este principio, dice Lakatos, descansa en dos suposiciones falsas. Primero, que hay una frontera psicológica entre las proposiciones especulativas y las observacionales, y segundo, que las proposiciones observacionales pueden demostrarse mirando los hechos. En los últimos 15 años estas suposiciones se han ridiculizado bastante, pero tenemos que tener también un argumento. Los argumentos de Lakatos son increíblemente ingenuos e ineficaces. Dice que "con unos cuantos ejemplos típicos se muestra la debilidad de la primera suposición". De hecho sólo da un ejemplo, el uso de Galileo de un telescopio para ver las manchas solares, un ver que no puede ser puramente

observacional. ¿Piensa que esto refuta, o por lo menos debilita, la distinción entre observación y teoría?

En lo concerniente al segundo punto, que uno puede ver si las oraciones observacionales son verdaderas, Lakatos escribe en cursivas "ninguna proposición fáctica puede ser probada por un experimento [...] no es posible probar enunciados a partir de la experiencia [...] Éste es un punto básico de la lógica elemental, que incluso actualmente sólo lo entiende poca gente" (I, p. 16). Tal equivocación acerca del verbo "probar" es particularmente desalentadora cuando proviene de quien aprendí los diversos sentidos de ese verbo: que propiamente tiene el sentido de "contraste empírico" (la prueba del pudín se establece al comerlo; pruebas de galeras), como cuando decimos que ponemos a prueba una teoría, y que tales pruebas frecuentemente conducen a establecer los hechos (el pudín es indigesto; las galeras plagadas de erratas).

ACERCA DE TENER SUPUESTOS TEÓRICOS

Los ensayos de Paul Feyerabend, contemporáneos del trabajo de Hanson, también le restaron importancia a la distinción entre teoría y observación. Él abandona la obsesión filosófica con el lenguaje y los significados. Denuncia la frase misma de "cargado de teoría". Pero esto no es porque piense que partes de lo que decimos estén libres de teoría. Muy por el contrario. Llamar a los enunciados cargados de teoría, nos dice Feyerabend, sugiere que hay algo como un camión observacional al que se le carga un componente teórico. No hay tal camión. La teoría está en todas partes.

En su libro mas famoso, *Against Method* (1977), Feyerabend dice que no tiene sentido hacer la distinción entre teoría y observación. Curiosamente, con su profundo rechazo a las discusiones lingüísticas, todavía habla como si la distinción teoría/observación fuera una distinción entre oraciones. Sugiere que sólo es una cuestión de oraciones que son más o menos obvias, o de oraciones largas y cortas. "Nadie puede negar que tales distinciones pueden hacerse, pero nadie va a tomarlas muy en serio, porque no desempeñan ningún papel decisivo en los asuntos de la ciencia" (p. 168). También leemos algo que suena a la doctrina de "la carga teórica" en toda su fuerza: "Los informes observacionales, los resultados experimentales, 'las oraciones fácticas', o bien *contienen* supuestos teóricos, o bien se afirman por la manera como se usan" (p. 31). Estoy en desacuerdo con lo que aquí se dice, pero antes de explicar por qué, quiero anular algo que este tipo de comentarios sugieren. Dan la idea de que los resultados experimentales

agotan lo que es importante en un experimento, y que los resultados experimentales se formulan o incluso se constituyen por medio de informes de observaciones o "enunciados fácticos". Voy a insistir en la perogrullada de que experimentar no es describir o informar, sino hacer —y no hacer cosas con palabras.

ORACIONES, RELACIONES, RESULTADOS

La observación y el experimento no son la misma cosa, ni siquiera los polos opuestos de un continuo. Evidentemente muchas observaciones interesantes no tienen nada que ver con experimentos. Claude Bernard en su *Introducción al estudio de la medicina experimental* (1865) es un ejemplo clásico de cómo se hace la distinción entre los conceptos de experimento y observación. Él pone a prueba su clasificación en una serie de ejemplos de la medicina en donde la observación y el experimento se mezclan. Tomemos el ejemplo del doctor Beauchamp, quien en la guerra de 1812 tuvo la buena fortuna de observar, durante un largo periodo, la manera como trabaja el tracto digestivo de un hombre que tenía una herida terrible en el estómago. ¿Fue éste un experimento o sólo una serie de observaciones que el destino permitió en circunstancias casi únicas? No quiero proseguir el tema, sino recalcar algo que es más claro en física que en medicina.

El experimento Michelson-Morley tiene el mérito de ser bien conocido. Es famoso porque, en perspectiva, fue considerado por algunos historiadores como una refutación de toda la teoría del éter electromagnético, convirtiéndose en la predecesora de la teoría de la relatividad de Einstein. El *informe* publicado más importante del experimento de 1887 tiene 12 páginas. Las *observaciones* fueron hechas en el curso de unas cuantas horas el 8, 9, 11 y 12 de julio. *Los resultados* del experimento son bastante controversiales; Michelson creía que el resultado más importante era una refutación del movimiento relativo de la tierra con respecto al éter. Como mostraré en el capítulo 15 más adelante, también pensaba que desacreditaba una teoría utilizada para explicar por qué las estrellas no están exactamente en donde parecen estar. En todo caso el experimento duró todo el año. Esto incluyó hacer y rehacer el aparato y hacerlo funcionar, y sobre todo adquirir esa curiosa habilidad de saber cuándo funciona el aparato. Es común usar la etiqueta "el experimento Michelson-Morley" para referirse a una serie de trabajos intermitentes desde el éxito inicial de Michelson en 1881 (o incluso antes, tomando en cuenta unos fracasos iniciales) hasta abarcar el trabajo de Miller en los años veinte de este siglo. Se podría decir que el experimento

duró medio siglo, mientras que las observaciones duraron un día y medio. Además, el resultado importante del experimento, si bien no era un resultado experimental, fue una transformación radical en las posibilidades de una medición. Michelson ganó un premio Nobel por esto, no por su impacto en las teorías del éter.

En resumen, las "oraciones fácticas, los informes observacionales y los resultados experimentales" de Feyerabend no son el mismo tipo de cosas. Apilarlos hace casi imposible notar algo muy importante acerca de la ciencia experimental. En particular, no tienen nada que ver con la diferencia que hace Feyerabend entre oraciones largas y cortas.

OBSERVACIÓN SIN TEORÍA

Feyerabend dice que los informes de observaciones, etcétera, siempre contienen o afirman supuestos teóricos. No vale la pena discutir mucho esta tesis porque es obviamente falsa, a menos que uno le adscriba a las palabras un sentido muy débil, en cuyo caso la tesis es verdadera pero trivial.

Una buena parte de la discusión es acerca de la palabra "teoría", una palabra que debe reservarse para algún cuerpo específico de especulación o para proposiciones con un tema definido. Desgraciadamente, en la cita anterior Feyerabend usa la palabra "teoría" para referirse a toda clase de creencias rudimentarias, implícitas o simplemente imputadas a alguien. Para condensar su idea sin malicia, escribió lo siguiente acerca de algunos hábitos y creencias:

> Nuestra costumbre de decir que la mesa es café cuando la vemos en circunstancias normales, o de decir que la mesa parece café cuando la vemos en otras circunstancias [...] nuestra creencia de que algunas de nuestras impresiones sensoriales son verídicas y otras no [...] que el medio entre nosotros y el objeto no distorsiona [...] que el ente físico que establece el contacto acarrea una imagen verdadera...

Se supone que todos estos son supuestos teóricos que subyacen en nuestras observaciones más comunes, y "el material que el científico tiene a su disposición, sus teorías más sublimes y sus técnicas más sofisticadas inclusive, están estructuradas de la misma manera".

Si tomamos lo anterior literalmente, por cortesía podemos decir que ha sido dicho muy apresuradamente. Por ejemplo, ¿qué es esa "costumbre de decir que la mesa es café cuando la vemos en circunstancias normales"? Dudo mucho que alguna vez en la vida yo haya pronunciado antes la oración

"la mesa es café" o "la mesa parece café". Sin lugar a dudas no acostumbro decir la primera oración cuando miro con buena luz una mesa. Sólo he conocido a una persona que tenía una costumbre así: un francés loco que habitual y repetidamente decía *C'est de la merde, ça*, cuando veía excremento en condiciones normales de iluminación; por ejemplo, cuando estábamos abonando una hortaliza. Tampoco llegaría al extremo de achacarle al pobre fulano los supuestos mencionados por Feyerabend. Feyerabend nos ha hecho ver cómo no se debe hablar de la observación, del habla, de la teoría, de los hábitos, o de informar acerca de observaciones.

Por supuesto, tenemos todo tipo de expectativas, prejuicios, opiniones, hipótesis de trabajo y hábitos cuando decimos cualquier cosa. Unos los hacemos explícitos. Otros son implicaciones contextuales. Algunos pueden imputárselos al hablante un cuidadoso estudiante de la mente humana. Algunas proposiciones que pudieran haber sido supuestos o presuposiciones en otro contexto no lo son en el de la existencia rutinaria. Así, podría suponer que el aire entre la página impresa y yo no distorsiona la forma de las palabras que veo, y tal vez podría investigar este supuesto. (¿Cómo?) Pero cuando leo en voz alta o hago correcciones en esta página, simplemente interactúo con algo que me interesa, y es incorrecto hablar de supuestos. En particular no es correcto hablar de supuestos teóricos. No tengo la menor idea de qué sería una teoría de la no distorsión del aire. Por supuesto, si se quiere llamar teoría a cada creencia, protocreencia o creencia que pudiera inventarse, puede hacerse. Pero entonces la tesis de la carga teórica sería trivial.

Ha habido importantes observaciones en la historia de la ciencia que no han incluido supuestos teóricos en absoluto. Las observaciones valiosas del capítulo anterior nos proporcionan ejemplos. Aquí tenemos otro, más reciente, en el cual podemos asentar una oración observacional prístina.

HERSCHEL Y EL CALOR RADIANTE

William Herschel fue un escudriñador diestro e insaciable del cielo nocturno, constructor del más grande telescopio de su tiempo, con el cual amplió inmensamente nuestro catálogo de los cielos. Aquí consideraré un suceso incidental que tuvo lugar en 1800, cuando Herschel tenía 61 años. Ése fue el año en que, en la terminología contemporánea, descubrió el calor radiante. Hizo cerca de 200 experimentos y publicó 4 trabajos importantes sobre el tema, de los cuales el último tiene 100 páginas. Todos se encuentran en *Philosophical Transactions of the Royal Society* del año 1800. Empezó for-

mulando lo que ahora pensamos que era la propuesta correcta acerca del calor radiante, pero terminó en aprietos, sin saber dónde radicaba la verdad.

Había usado filtros coloreados en uno de sus telescopios. Notó que los filtros de colores diferentes transmiten cantidades diferentes de calor: "Cuando utilizaba algunos de ellos tenía una sensación de calor, aunque tenía poca luz, mientras que otros me daban mucha luz con una sensación mínima de calor." No vamos a encontrar un informe observacional mejor que éste en toda la ciencia de la física. Naturalmente, no recordamos esto debido a su calidad sensorial, sino por lo que vino después. ¿Por qué Herschel hizo algo después? Primero que nada, él quería filtros más adecuados para observar el Sol. Seguramente también tenía en mente cuestiones especulativas que empezaban a destacarse.

Empleó termómetros para estudiar el efecto de los rayos de luz separados por un prisma. Esto lo puso definitivamente en camino, no sólo porque encontró que el anaranjado calienta más que el índigo, sino porque también hay un efecto de calor por debajo del espectro del rojo visible. Su primera conjetura acerca de este fenómeno fue más o menos lo que ahora creemos. Pensó que tanto los rayos visibles como los invisibles eran emitidos por el Sol. Nuestros ojos son sensibles sólo a una parte del espectro de radiación. Nosotros nos calentamos por una parte diferente que se le superpone. Como creía en la teoría corpuscular newtoniana de la luz, pensó en términos de rayos compuestos de partículas. La vista responde a los corpúsculos del violeta al rojo, mientras que la sensación de calor responde a corpúsculos del amarillo al infrarrojo.

Posteriormente se puso a investigar esta idea viendo si el calor y los rayos de la luz en el espectro visible tenían las mismas propiedades. Así que comparó sus reflexiones, refracciones y la refrangibilidad diferencial, su tendencia a ser detenidas por cuerpos diáfanos, y su tendencia a ser dispersados por superficies ásperas.

En este punto de los escritos de Herschel tenemos una serie de observaciones de diversos ángulos, proporciones de la luz transmitida y otras cosas por el estilo. Seguramente tenía una idea experimental, pero sólo nebulosa. Su teoría era enteramente newtoniana: pensaba que la luz consistía en rayos de partículas, pero esto tuvo un impacto en los detalles de su investigación. Sus dificultades no eran teóricas, sino experimentales. La fotometría —la práctica de la medición de los diversos aspectos de la luz transmitida— tenía unos cuarenta años de existir sin contratiempos, pero la calorimetría casi no existía. Había procedimientos para filtrar los rayos de la luz, pero ¿cómo se podrían filtrar los rayos del calor? Herschel ensayaba fenómenos. Afirmaba que sus mediciones eran exactas, pero ahora sabemos que no era

así. Midió no sólo la transmisión de la luz, sino también la transmisión del calor con la precisión de una parte en mil. Esto no lo pudo haber hecho, pero hay un problema especial si queremos repetir lo que en verdad hizo, pues Herschel trabajó con una amplia variedad de filtros que tenía a la mano —como brandy en una garrafa, por ejemplo. Como un historiador ha hecho ver, su brandy era casi color negro betún. Hoy no podemos repetir una medición en esa sustancia, cualquiera que haya sido.

Herschel hizo ver que el calor y la luz son similares en la reflexión, la refracción y en la refrangibilidad diferencial. Le preocupaba la transmisión. Tenía la imagen de un medio translúcido que detenía una proporción definida de los rayos de un cierto tipo, los rojos, por ejemplo. Su idea del rojo era que el rayo de calor, que refracta con el coeficiente de la luz roja, es idéntico a la luz roja con el mismo coeficiente. Así, si $x\%$ de la luz pasa a través del filtro, y el calor y la luz son idénticos en esta parte del espectro, $x\%$ del calor debería pasar también. Se pregunta: "¿El calor que tiene la misma refrangibilidad que los rayos rojos es ocasionado por la luz de esos rayos?" Encuentra que no. Una pieza de vidrio que deja pasar casi todos los rayos rojos detiene 96.2% del calor. Por lo tanto, el calor no puede ser lo mismo que la luz.

Herschel abandonó su hipótesis original y no sabía qué pensar. Así, a finales de 1800, después de 200 experimentos y cuatro publicaciones importantes, se dio por vencido. El año siguiente, Thomas Young, cuyo trabajo sobre la interferencia empezó (o reintrodujo) la teoría ondulatoria de la luz, dio la conferencia bakeriana en la que se inclinaba por la hipótesis original de Herschel. Por ello, él veía con indiferencia el dilema experimental de Herschel. Tal vez la teoría ondulatoria era más afín al calor radiante que la teoría newtoniana de rayos de partículas luminosas. Pero de hecho el escepticismo acerca del calor radiante se mantuvo aún mucho después de que la teoría newtoniana declinó. Se resolvió sólo con aparatos inventados por Macedonio Melloni (1798–1854). Tan pronto como se inventó el termopar (1830), Melloni se dio cuenta que ahora tenía un instrumento con el que podía medir la transmisión del calor a través de sustancias diferentes. Éste es uno de los muchos ejemplos en los que una invención le permite a un experimentador embarcarse en otra investigación que a su vez aclara la ruta que el teórico debe seguir.

Herschel tenía problemas experimentales más primitivos. ¿Qué es lo que observaba? Ésa era la pregunta que sus críticos se hacían. Herschel fue fuertemente cuestionado en 1801. Sus resultados experimentales fueron rechazados. Un año después fueron más o menos reproducidos. Había varias dificultades experimentales serias. Por ejemplo, un prisma no termina exactamente en el rojo. Parte de la luz ambiental se difunde y aparece bajo el

rojo como pálida luz blanca. ¿Podría ser que el calor "infrarrojo" fuera causado por esta luz blanca? Una nueva idea experimental intervino aquí. No hay calor invisible significativo por encima del violeta, ¿pero acaso no es posible que haya de todas maneras "radiación"? Se sabía que el cloruro de plata reacciona cuando se expone al extremo violeta del espectro (éste es el principio de la fotografía). Ritter lo expuso más allá del violeta y encontró que reaccionaba; ahora decimos que descubrió el ultravioleta en 1802.

ACERCA DE CÓMO PRESTAMOS ATENCIÓN

Herschel le puso atención al fenómeno del calentamiento diferencial por medio de luz coloreada y lo describió en un enunciado en términos de datos sensoriales de la manera más pura que puede encontrarse en la física. No quiero dejar a un lado algo en lo que N.R. Hanson insistió tanto: que se le puede prestar atención a un fenómeno sólo si se tiene una teoría que le da sentido. En el caso de Herschel fue la falta de teoría lo que lo hizo tomar nota. Frecuentemente encontramos lo contrario. El libro de Hanson *The Positron* (1965), si bien contiene algunas discusiones controversiales del descubrimiento, es un ejemplo elaborado de esta tesis. Él sostiene que la gente pudo ver las huellas de los positrones sólo cuando hubo una teoría al respecto, aunque después de la teoría incluso un estudiante puede ver las huellas. Podemos llamar a ésta la doctrina de que el hecho de prestar atención está cargado de teoría.

Sin lugar a dudas, la gente tiende a prestarle atención a cosas que son interesantes, sorprendentes, etcétera, y tales expectativas e intereses son influidos por las teorías en las que se cree: pero esto no quiere decir que deberíamos despreciar la posibilidad de un observador "puro". De historias como la del positrón se tiende a inferir que cualquiera que informe "esto es un positrón" al ver una placa fotográfica, afirma o implica una teoría. No creo que sea así. Podemos entrenar a un asistente para que reconozca huellas sin darle ninguna clave sobre la teoría. En Inglaterra, incluso ahora, no es extraño encontrar en un laboratorio a algún joven técnico que no recibió ninguna educación formal después de los 16 o 17 años, que no sólo es extraordinariamente hábil en el uso del aparato, sino también el que más rápidamente nota algo peculiar en las placas fotográficas que ha preparado y revelado del microscopio electrónico, por ejemplo.

Podríamos preguntarnos si acaso la sustancia de la teoría acerca de los positrones no es una de las condiciones o presuposiciones de la verdad del tipo de expresiones que podemos representar por medio de "esto es un positrón"

Posiblemente, pero lo dudo. La teoría puede abandonarse o sustituirse por una teoría totalmente diferente acerca de los positrones, pero deja intacto lo que para entonces se ha establecido como la clase de oraciones observacionales representadas por "esto es un positrón". Por supuesto, la teoría presente podría fallar de una manera diferente: podría detectarse que las supuestas huellas de positrones son artefactos del aparato utilizado para los experimentos. Esto es sólo ligeramente más probable que la posibilidad de que descubramos que todas las ovejas son lobos disfrazados de ovejas. También en este caso hablaríamos de manera diferente. No sostengo que el sentido de "éste es un positrón" está más desconectado del resto del discurso que "esto es una oveja". Mi tesis es únicamente que el significado no tiene por qué estar enredado en una teoría en particular, de tal manera que cada vez que uno dice "esto es un positrón", de algún modo siempre se afirme una teoría.

LA OBSERVACIÓN ES UNA HABILIDAD

Un ejemplo similar al de Hanson hace ver que prestar atención y observar son habilidades. Creo que Caroline Herschel (hermana de William) descubrió más cometas que ninguna otra persona en la historia. En un solo año descubrió ocho. Varias cosas la ayudaron a hacer esto. Era incansable. Cada noche sin nubes estaba en su puesto de observación. Además, tenía un hermano que era buen astrónomo. Utilizaba un aparato, reconstruido recientemente (en 1980) por Michael Hoskin, que le permitía escudriñar noche tras noche, franja por franja, el cielo entero, sin dejar nunca un rincón sin revisar.[2] Cuando encontraba algo curioso a simple vista, tenía buenos telescopios para ver más de cerca. Pero, lo que es todavía más importante, podía reconocer un cometa inmediatamente. El resto de los mortales, tal vez con la excepción de William, tenían que seguir la trayectoria del supuesto cometa antes de llegar a formarse una opinión acerca de su naturaleza. (Los cometas tienen trayectorias parabólicas.)

Cuando digo que Caroline Herschel podía distinguir un cometa a simple vista, no quiero decir que era una especie de autómata sin mente. Muy por el contrario. Ella poseía el más profundo entendimiento de la cosmología y era una de las mentes más especulativas de su tiempo. Era incansable no porque le gustara especialmente la aburrida tarea de escudriñar los cielos, sino porque quería saber más acerca del universo.

[2] M. Hoskin y B. Warner, "Caroline Herschel's Comet Sweepers" en *Journal of the History of Astronomy*, no. 12, 1981, pp. 27–34.

Pudo haber pasado que la teoría de Herschel acerca de los cometas estuviera radicalmente equivocada y que hubiera sido reemplazada por otra teoría tan diferente que se le podría haber catalogado de inconmensurable con la de ella. Pero esto no pondría en cuestión su derecho a la fama. Seguiría siendo cierto que ella descubrió más cometas que ninguna otra persona. De hecho, si nuestra nueva teoría concibiera los cometas como meras ilusiones ópticas en una escala cósmica, entonces, su descubrimiento de ocho cometas en un año provocaría una sonrisa con aire de superioridad, pero eso es otra cosa.

VER NO ES DECIR

La tendencia a sustituir observaciones por entidades lingüísticas (oraciones observacionales) persiste en la filosofía reciente. Así, W.V.O. Quine propone, casi como si fuera una novedad, que deberíamos "evitar hablar de observación y hablar en su lugar de oraciones observacionales, las oraciones que supuestamente informan sobre las observaciones". (*The Roots of Reference*, pp. 36–39.)

Caroline Herschel no sólo nos sirve para refutar la tesis de que la observación es sólo una cuestión de decir algo, sino también nos lleva a dudar de la aserción de Quine. Deliberadamente, Quine escribía en contra de la doctrina de que todas las observaciones están cargadas de teoría. Dice que hay una clase claramente distinguible de oraciones observacionales, porque "las observaciones son aquello acerca de lo cual los testigos se pondrían de acuerdo en el acto". Nos asegura que "la oración es observacional en tanto que prácticamente cualquier miembro de la comunidad de hablantes que presencie la ocasión estaría de acuerdo en cuanto a su valor de verdad". Y "podemos reconocer a los miembros de la comunidad lingüística por su mera fluidez en el diálogo".

Es difícil imaginarse una manera de pensar acerca de la observación en la ciencia natural que esté más equivocada. Nadie en la comunidad lingüística de Caroline Herschel estaría de acuerdo o en desacuerdo con ella acerca de la observación de un nuevo cometa, sobre la base de la observación nocturna. Sólo ella, y en menor grado William, tenían la habilidad requerida. Esto no quiere decir que ella tenía esa habilidad sólo en tanto otros estudiosos, utilizando otros métodos, no llegarían al final a ponerse de acuerdo respecto a varias de sus identificaciones. Sus juicios sólo alcanzan su total validez en el contexto de la vida científica de su tiempo. Pero el acuerdo "en el acto" de Quine tiene muy poco que ver con la observación en la ciencia.

Si queremos una descripción comprensiva de la vida científica deberíamos, en total oposición a Quine, no hablar de oraciones observacionales, sino hablar de observación. Deberíamos hablar cuidadosamente de informes, habilidades y resultados experimentales. Deberíamos considerar, por ejemplo, en qué consiste tener un experimento que funcione lo suficientemente bien para que el experimentador hábil pueda decidir que los datos que proporciona son significativos. ¿Qué es lo que hace que un experimento sea convincente? La observación tiene muy poco que ver con esa pregunta.

LA AMPLIFICACIÓN DE LOS SENTIDOS

El ojo sin ninguna ayuda no ve ni muy lejos ni muy profundamente. Algunos necesitamos anteojos para evitar una ceguera casi total. Una manera de extender los sentidos es con el uso de telescopios y microscopios cada vez más imaginativos. En el próximo capítulo argumentaré si acaso vemos con un microscopio (creo que así es, pero la cuestión no es simple). Hay extensiones más radicales de la idea de observación. Es común en las enrarecidas cimas de la ciencia experimental hablar de "observar" lo que ingenuamente pensaríamos que es no observable —si "observable" quisiera decir utilizar los cinco sentidos sin ayuda. Naturalmente, si fuéramos prepositivistas, como Bacon, diríamos, "¿y eso qué?". Pero tenemos todavía una herencia positivista y, por lo tanto, nos sorprenden algunos comentarios rutinarios de los físicos. Por ejemplo, los fermiones son aquellas partículas fundamentales con momento angular de 1/2, o 3/2, que obedecen la estadística de Fermi-Dirac: incluyen electrones, muones, neutrones y protones, y muchas partículas más, como los famosos quarks. Uno dice cosas como: "de esos fermiones, sólo el quark t no ha sido visto. La imposibilidad de observar estados tt' en aniquilación $e^+ e^-$ en PETRA sigue siendo un enigma".[3]

El lenguaje que se ha institucionalizado entre los físicos de partículas puede verse dándole un vistazo a algo tan formal como una tabla de mesones. En el encabezado de la Tabla de Mesones de abril de 1982 se lee que "las cantidades en cursivas son nuevas o han sido cambiadas por más de una (antigua) desviación estándar desde abril de 1980".[4] Ni siquiera está claro

[3] C.Y. Prescott, "Prospects for polarized electrons at high energies", Stanford Linear Accelerator, SLAC-PUB-2630, octubre de 1980, p. 5. (Éste es un informe relacionado con el experimento que se describirá más adelante en el capítulo 16.)

[4] *Particle Properties Data Booklet*, abril de 1982, p. 24. (Puede obtenerse en el Laboratorio Lawrence Berkeley y el CERN. *Cfr.* "Review of physical properties", Physics Letters IIIB, 1982.)

cómo contar los tipos de mesones que no han sido detectados, pero limitémonos a abrir una página (pp. 28–29) en la que hay nueve mesones clasificados según seis características diferentes. El "modo de decaimiento parcial" y la fracción de decaimientos que se detectan cuantitativamente sólo son de interés cuando se cuenta con un análisis estadístico con 90% de confiabilidad. De los 31 decaimientos asociados con esos nueve mesones, tenemos 11 cantidades o cotas superiores, una cota "grande", una "*dominante*", otra "dominante", ocho cotas "vistas", seis "*vistas*" y tres "posiblemente vistas". Dudley Shapere recientemente ha tratado de formular un análisis detallado de tal tipo de discurso.[5] Toma el ejemplo de la manera de hablar acerca de la observación del interior del Sol. Por supuesto, esto requiere varias capas de la idea de Bacon, no soñadas por él, de "hacer manifiestas cosas que no son directamente perceptibles, por medio de otras que sí lo son". El problema es que el físico todavía llama a eso "observación directa". Shapere tiene muchas citas como éstas: "No hay otra manera de ver el interior de una estrella que mediante los neutrinos". "Los neutrinos", escribe otro autor, "son la única manera de observar el núcleo caliente de una estrella".

Shapere concluye que éste es un uso adecuado y lo analiza como sigue: "x se observa directamente si (1) la información se recibe por medio de un receptor apropiado y (2) esa información se transmite directamente, *i.e.* sin interferencia, al receptor del ente x (que es la fuente de la información)". Sospecho que el uso de algunos físicos —como lo ilustra mi cita anterior sobre los quarks— es todavía más liberal que esto, pero claramente Shapere nos ofrece el inicio del análisis correcto.[6]

OBSERVACIÓN CARGADA MASIVAMENTE CON TEORÍA (E)

Shapere sabe que si algo es o no directamente observable depende del estado actual del conocimiento. Nuestras teorías de cómo trabajan los receptores, o de la transmisión de la información por neutrinos, suponen una cantidad masiva de teoría. Así que podemos pensar que conforme la teoría se da por sentada, extendemos el alcance de lo que llamamos observación. Pero no debemos caer presas de la falacia de hablar de teoría sin hacer distinciones.

Por ejemplo, hay una razón excelente para hablar de la observación en relación con los neutrinos y el Sol. La teoría del neutrino y sus interacciones

[5] D. Shapere, "The concept of observation in science and philosophy", *Philosophy of Science*, no. 49, 1982, pp. 231–267.

[6] Véase K.S. Shrader Frechette, "Quark quantum numbers and the problem of microphysical observation", *Synthèse*, no. 50, 1982, pp. 125–146.

es casi totalmente independiente de especulaciones acerca del núcleo solar. Es precisamente la falta de unidad de la ciencia lo que nos permite observar (desplegando una gran variedad de supuestos teóricos) otro aspecto de la naturaleza (acerca del cual tenemos una serie no relacionada de ideas). Por supuesto, si los dos dominios están o no relacionados no involucra precisamente teoría, sino una sospecha acerca de la naturaleza de la naturaleza. Ilustra esto un ejemplo ligeramente diferente acerca del Sol.

¿Cómo podríamos investigar la hipótesis de Dicke de que el interior del Sol está rotando 10 veces más rápido que su superficie? Se han propuesto tres métodos: (1) el uso de observaciones ópticas de la oblongación del Sol; (2) tratar de medir el momento de masa cuádruple del Sol con el Starprobe, el satélite que pasa a cuatro radios solares de distancia del Sol; (3) medir la precesión relativa de un giroscopio en órbita alrededor del Sol. ¿Nos permite alguno de esos tres métodos "observar" la rotación interior?

El primero de estos métodos supone que la forma óptica está relacionada con la forma de la masa. Cierta forma del Sol nos puede ayudar a inferir algo acerca de la rotación interior, pero es una inferencia basada en una hipótesis incierta que está relacionada con el tema en estudio.

El segundo método supone que la única fuente del momento de masa cuádruple es la rotación interior, aunque ésta bien podría atribuirse a campos magnéticos internos. Por tanto, se requiere una suposición acerca de lo que sucede (o no sucede) en el sol para inferir algo acerca de la rotación interior.

Por otro lado, la precesión relativista del giróscopo se basa en una teoría que no tiene nada que ver con el Sol, y en el marco de la teoría actual, no es posible pensar en algo, a excepción del momento angular de un objeto (el Sol, por ejemplo), que podría producir tal o cual precesión relativa en un giroscopio en órbita polar alrededor del Sol.

Lo importante no es que la teoría relativista está mejor establecida que las teorías implícitas en los otros dos posibles experimentos. Tal vez la teoría de la precesión relativista va a ser la primera que se abandone. Lo importante es que dentro del marco de nuestra comprensión presente, el grupo de suposiciones teóricas que subyacen en la propuesta del giroscopio se logran de una manera totalmente diferente de las proposiciones que la gente inventa acerca del núcleo del Sol. Por otro lado, las primeras dos propuestas involucran suposiciones que no tienen nada que ver con creencias acerca del interior del Sol.

Es por ello natural que el experimentador diga que el giroscopio de órbita polar nos permite observar la rotación interior del Sol, mientras que las otras dos investigaciones sólo nos sugieren inferencias. Esto no quiere decir que el tercer experimento sea el mejor: su costo y dificultad hacen más atractivos

a los dos primeros. Estoy intentando extraer alguna conclusión filosófica acerca de cuáles experimentos conducen a la observación, y cuáles no.

Posiblemente esto se relaciona con los debates acerca de la observación cargada de teoría con la que empecé este capítulo. Tal vez los primeros dos experimentos contienen supuestos teóricos relacionados con el tema que se investiga, mientras que el tercero, si bien cargado de teoría, no contiene tales suposiciones. En el caso de ver mesas, nuestros enunciados tampoco contienen supuestos teóricos relacionados con los objetos en estudio, a saber, las mesas, aun cuando (por un abuso de las palabras "teoría" y "contener") sí contengan supuestos teóricos acerca de la visión.

INDEPENDENCIA

En esta concepción, algo cuenta como observación más bien que como inferencia cuando satisface los criterios mínimos de Shapere, y cuando el grupo de teorías en las que descansa no están entrelazadas con los hechos acerca del tema en estudio. El siguiente capítulo, sobre los microscopios, confirma la importancia de esta sugerencia. No creo que la cuestión sea de mucha importancia. La observación, en el sentido filosófico de producir y registrar datos, es sólo un aspecto del trabajo experimental. Es en otro sentido que el experimentador debe ser un buen observador —sensible y alerta. Sólo un buen observador puede llevar a cabo un experimento, detectar los problemas que impiden el desarrollo del experimento, modificarlo de la manera adecuada, distinguir si algo fuera de lo común es una clave de la naturaleza o si es un artefacto de la máquina. Tal tipo de observación aparece muy pocas veces en los informes finales del experimento. Por lo menos es tan importante como cualquier cosa que se incluye en un informe final, pero nada filosófico depende de ello.

Shapere tiene un fin más filosófico en su análisis de la observación. Sostiene que la concepción fundacionista anterior iba en el camino correcto. El conocimiento está fundado, en última instancia, en la observación. Hace notar que lo que cuenta como observación depende de las teorías del mundo y de efectos especiales, por lo que no hay tal cosa como una oración absoluta, básica u observacional. Pero el hecho de que la observación depende de las teorías no tiene ninguna de las consecuencias antirracionalistas que han sido inferidas a veces de la tesis de que la observación está cargada de teoría. Siendo así, si bien Shapere ha escrito el mejor estudio extenso de la observación en tiempos recientes, al final tiene una motivación filosófica ulterior que concierne a los fundamentos y la racionalidad de las creen-

cias teóricas. Van Fraassen también hace notar que la teoría misma puede modificar nuestras creencias acerca de lo que es observacional y lo que es real. Mi propósito en este capítulo ha sido más mundano. He insistido en algunos de los aspectos más ordinarios de la observación. Una filosofía de la ciencia experimental no puede permitir que una filosofía dominada por la teoría considere sospechoso el concepto mismo de observación.

11

LOS MICROSCOPIOS

Un hecho acerca de las entidades teóricas de tamaño mediano es un argumento tan convincente en favor del realismo científico de lo mediano que los filósofos se avergüenzan de discutirlo: los microscopios. Primero conjeturamos que hay un gene de tal y tal tipo, y posteriormente desarrollamos instrumentos que nos permitan verlo. ¿No deberían incluso los positivistas aceptar esta evidencia? No. El positivista dice que sólo la teoría nos hace suponer que lo que la lente enseña es verdadero. La realidad en la que creemos es sólo una fotografía de lo que salió del microscopio, no una cosita real.

Tales confrontaciones entre realistas y antirrealistas palidecen al lado de la metafísica de investigadores serios. Uno de mis maestros, quien es principalmente un técnico que trata de hacer mejores microscopios, podría comentar casualmente: "La microscopía por medio de la difracción de rayos X es actualmente el principal enlace entre la estructura atómica y la mente humana." Los filósofos de la ciencia que discuten el realismo y el antirrealismo tienen que saber algo acerca de los microscopios que inspiran tal elocuencia. Aun el microscopio luminoso es una absoluta maravilla. No funciona de la manera como la mayoría de la gente no instruida cree. Pero ¿por qué debería un filósofo preocuparse acerca de cómo funciona? Porque es una manera de saber algo acerca del mundo real. La pregunta es: ¿cómo lo hace? El microscopista tiene trucos más sorprendentes que el más imaginativo estudioso de café de la filosofía de la percepción. Es necesario tener algún conocimiento de esos fascinantes sistemas físicos "por medio de cuyo poder de aumento podemos ver más / que todo lo que el mundo anterior haya visto jamás".[1]

[1] De un poema de Henry Powers, "En homenaje al microscopio" (1664). Citado en la excelente obra histórica de Saville Bradbury, *The Microscope, Past and Present*, Oxford, 1968.

LA GRAN CADENA DEL SER

Los filósofos han escrito entusiastamente acerca de los telescopios. El mismo Galileo invitó a filosofar cuando sostuvo haber visto las lunas de Júpiter, asumiendo que las leyes de la visión en la esfera celeste son las mismas que en la tierra. Paul Feyerabend utiliza el mismo caso para argumentar que la ciencia procede mediante la propaganda tanto como mediante la razón: Galileo era un estafador, no alguien que razonara experimentalmente. Pierre Duhem utilizó el telescopio para exponer su famosa tesis de que ninguna teoría tiene que rechazarse, ya que los fenómenos que no encajan pueden siempre ajustarse cambiando las hipótesis auxiliares (si las estrellas no están donde la teoría predice, culpa al telescopio, no a los cielos). En comparación, el microscopio ha desempeñado un humilde papel, rara vez utilizado para generar paradojas filosóficas. Tal vez esto se deba a que todo el mundo esperaba encontrar en la tierra mundos dentro de mundos. Shakespeare es sólo un poeta que expresa bien la gran cadena del ser cuando en *Romeo y Julieta* escribe de la reina Mab y su diminuto carruaje, que llega "arrastrada por un tronco de atomísticos corceles [. . .] su cochero, un pequeño mosquito de librea gris, ni la mitad grande como el redondo gusanillo que se extrae con la punta de un alfiler del perezoso dedo de una doncella". Se esperaba que hubiera diminutas criaturas por debajo del alcance de la visión humana. Cuando los lentes dióptricos se volvieron accesibles, nadie cuestionó las leyes de la visión directa y de la refracción. Esto fue un error. Creo que hasta antes de Ernst Abbe (1840–1905), nadie entendía cómo funcionaba un microscopio. Una reacción inmediata, la de un presidente de la Sociedad Real de Microscopía, citado durante años en muchas ediciones de *The Microscope* de Gage —durante mucho tiempo el texto oficial de microscopía en los Estados Unidos—, era que, después de todo, no vemos a través de un microscopio. El límite teórico de la resolución

> [A] Se explica con la investigación de Abbe. Se demuestra que la visión microscópica es *sui generis*. No hay ni puede haber comparación entre la visión microscópica y la macroscópica. Las imágenes de objetos diminutos no se delinean microscópicamente por medio de las leyes ordinarias de la refracción; no son resultados dióptricos, sino que dependen en su totalidad de las leyes de la difracción.

Creo que esta cita, que en adelante llamo simplemente [A], significa que no vemos, en ninguno de los sentidos ordinarios de la palabra, con un microscopio.

LOS FILÓSOFOS DEL MICROSCOPIO

Aproximadamente una vez cada veinte años, un filósofo ha dicho algo acerca de los microscopios. Cuando el espíritu del positivismo lógico llegó a Estados Unidos se podía leer a Gustav Bergman diciéndonos que en su empleo de la terminología filosófica, "los objetos microscópicos no son cosas físicas en un sentido literal, sino sólo por cortesía del lenguaje y de la imaginación pictórica [...] Cuando miro a través de un microscopio, todo lo que veo es una mancha de color que se desliza a través del campo de visión como una sombra sobre la pared".[2] Más adelante, Grover Maxwell, al negar que hubiera una distinción fundamental entre las entidades observacionales y las teóricas, exhortaba a pensar en la posibilidad de que hubiera un continuo de la visión: "mirar a través de la ventana, mirar a través de los anteojos, mirar a través de binoculares, mirar a través de un microscopio poco potente, a través de un microscopio muy potente, etcétera".[3] Algunas entidades pueden ser invisibles durante algún tiempo, pero más adelante, gracias a un nuevo truco de la tecnología, se vuelven observables. La distinción entre lo observable y lo meramente teórico no le interesa a la ontología.

Grover Maxwell estaba propugnando por una forma de realismo científico. Rechazaba cualquier antirrealismo que sostuviera que sólo debemos creer en la existencia de entidades observables que se infieran de nuestras teorías. En *La imagen científica*, van Fraassen se muestra fuertemente en desacuerdo. Como vimos anteriormente en la parte A, él llama a su filosofía empirismo constructivo y sostiene que "*La ciencia aspira a darnos la formulación de teorías que sean empíricamente adecuadas; y la aceptación de una teoría entraña sólo la creencia de que es empíricamente adecuada*" (p. 12). Seis páginas más adelante hace este comentario: "Aceptar una teoría es [para nosotros] creer que es empíricamente adecuada: que lo que la teoría dice *acerca de lo que es observable* [por nosotros] es verdadero." Está claro, pues, que para van Fraassen es esencial restaurar la distinción entre lo observable y lo no observable. Pero para él no es esencial exactamente en dónde debamos hacer la distinción. Concede que "observable" es un término vago cuya extensión misma puede estar determinada por nuestras teorías. Al mismo tiempo, quiere que la línea divisoria se trace en el lugar que, para él, es más fácilmente defendible, de tal manera que incluso si tuviera que retroceder un poco en el curso del debate, todavía le quedaría

[2] G. Bergman, "Outline of an empiricist philosophy of physics", *American Journal of Physics II*, 1943, pp. 248–258, 335–342.

[3] G. Maxwell, "The ontological status of theoretical entities", en *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, no. 3, 1962, pp. 3–27.

mucho espacio del lado de lo "no observable". Desconfía del continuo de Grover Maxwell y trata de detener el deslizamiento de las entidades vistas a las entidades inferidas lo más pronto posible. Rechaza completamente la idea del continuo.

Según van Fraassen, de la lista de Grover Maxwell surgen dos tipos distintos de casos. Puedes abrir la ventana y ver el abeto directamente. Por lo menos puedes acercarte a algunos de los objetos que observas mediante los binoculares para verlos de cerca a simple vista. (Evidentemente, él no es un observador de pájaros.) Pero no hay manera de ver una plaqueta a simple vista. Tan sólo el paso de la lupa al microscopio de poca potencia es el paso de lo que podemos observar con el ojo sin ayuda alguna, a lo que no podemos observar más que con instrumentos. Van Fraassen concluye que no vemos a través de un microscopio. Sin embargo, sí vemos a través de algunos telescopios. Podemos ir a Júpiter y ver sus lunas, pero no podemos empequeñecernos al tamaño de un paramecio para verlo. Van Fraassen también compara la cola de humo que deja un avión de reacción con la estela de ionización que deja un electrón en la cámara de niebla. Ambas son resultado de procesos físicos similares, pero se puede señalar el inicio de la estela de humo y ver el avión, o por lo menos esperar a que aterrice, pero nunca se puede esperar que un electrón aterrice y sea visto.

NO SÓLO MIRES: INTERFIERE

Los filósofos tienden a considerar los microscopios como cajas negras con una fuente de luz en un extremo y un agujero para observar en el otro. Según Grover Maxwell, los microscopios de poca potencia y los de mucha potencia son sólo más de lo mismo. Eso no es cierto; tampoco es cierto que los microscopios sólo sirvan para ver a través de ellos. De hecho, un filósofo seguramente no podrá ver a través de un microscopio hasta que haya aprendido a usar varios de ellos. Si se le pide que dibuje lo que ve, posiblemente, como James Thurber, dibujará su propio globo ocular reflejado, o, como Gustav Bergman, vea sólo "una mancha de color que se arrastra por el campo de visión como una sombra por la pared". Seguramente no podrá distinguir entre una partícula de polvo y la glándula salival de una mosca de la fruta hasta que empiece a disecar una mosca de la fruta en un microscopio de poco aumento.

Ésta es la primera lección: se aprende a ver en el microscopio haciendo algo, no sólo mirando. Hay un paralelo en la obra de Berkeley *New Theory of Vision*, de 1710, de acuerdo con la cual alcanzamos la visión tridimensional

sólo después de que aprendemos a ir y venir por el mundo y a intervenir en él. El sentido del tacto está correlacionado con nuestra imagen de la retina supuestamente bidimensional, y estas señales aprendidas son lo que produce la percepción tridimensional. De manera similar, un buzo aprende a ver en el nuevo medio de los océanos sólo cuando nada por ahí. Haya estado Berkeley en lo correcto o no con respecto a la visión primaria, las nuevas maneras de ver, adquiridas después de la infancia, entrañan un aprendizaje por medio del hacer, no sólo por medio del mirar pasivo. La convicción de que una parte de la célula está allí, tal y como la imagen la representa, se refuerza, por decir lo menos, cuando utilizamos medios físicos para, por ejemplo, microinyectar un fluido precisamente en esa parte de la célula. Vemos cómo la pequeña aguja de vidrio —una herramienta que nosotros mismos hemos hecho bajo el microscopio— traspasa la pared de la célula. Vemos manar el lípido por el extremo de la aguja conforme le damos vuelta al tornillo micrométrico que empuja a un émbolo cabalmente macroscópico. ¡Maldición! Inepto como soy, acabo de reventar la pared de la célula y tengo que intentarlo de nuevo con otro espécimen. El desprecio de John Dewey por la "teoría del conocimiento del espectador" se aplica igualmente a la teoría del microscopio del espectador.

Esto no quiere decir que los microscopistas prácticos estén exentos de perplejidad filosófica. Tomemos una segunda cita, [B], del texto más completo disponible dirigido a biólogos, *The Optical Methods in Biology*, de E.M. Slayter:

> [B] El microscopista puede observar un objeto familiar en un microscopio de poca potencia y ver una imagen ligeramente agrandada que es "la misma que" el objeto. Un incremento en el aumento puede revelar detalles del objeto invisibles a simple vista; es natural dar por sentado que también éstos son "lo mismo que" el objeto. (En esta fase es necesario establecer que el detalle no sea un artefacto, es decir, una consecuencia del daño al espécimen durante la preparación de la muestra para el microscopio.) Pero ¿qué es lo que realmente implica el enunciado de que "la imagen es lo mismo que el objeto?
>
> Obviamente, la imagen es un efecto puramente óptico [. . .] La "mismidad" del objeto y de la imagen implica, de hecho, que las interacciones físicas con el rayo de luz que hacen el objeto visible al ojo (o que lo harían visible si fuera suficientemente grande) son idénticas a las que llevaron a la formación de la imagen en el microscopio [. . .]
>
> Supongamos, de cualquier manera, que la radiación utilizada para formar la imagen es un rayo de luz ultravioleta, rayos X o electrones, o que el microscopio emplea algún tipo de dispositivo para convertir diferencias de

> fase en cambios de intensidad. La imagen no puede ser "lo mismo" que el objeto, ¡ni siquiera en el sentido restringido recién definido! El ojo no puede percibir la radiación ultravioleta, la de los raxos X ni la de los electrones, tampoco puede detectar cambios de fase entre los rayos luminosos [...]
>
> Esta manera de pensar revela que la imagen ha de ser un *mapa de interacciones entre el espécimen y la radiación que crea imágenes* (pp. 261–263).

La autora continúa diciendo que todos los métodos que ha mencionado, y otros más, "pueden producir imágenes 'verdaderas' que son, en algún sentido, 'como' el espécimen". También hace notar que en una técnica como la del radioautograma "se obtiene una 'imagen' del espécimen [...] exclusivamente desde el punto de vista de la localización de los átomos radioactivos. Este tipo de 'imagen' es tan especializada que, por lo general, no puede interpretarse sin la ayuda de una imagen adicional, la fotomicrografía, sobre la que se superpone".

Esta microscopista afirma apropiada e inteligentemente que vemos a través del microscopio sólo cuando las interacciones físicas del espécimen y el rayo de luz son "idénticas" para la formación de la imagen tanto en el microscopio como en el ojo. Contrástese con mi cita [A] de una generación anterior, que sostiene que, puesto que los microscopios luminosos ordinarios trabajan por difracción, no son lo mismo que la visión ordinaria, pero son *sui generis*. ¿Pueden los microscopistas [A] y [B] que están en desacuerdo acerca del más simple microscopio luminoso estar en el camino filosófico correcto acerca de "ver"? Las comillas puestas en "imagen" y en "verdadera" sugieren más ambivalencia en [B]. Se debería tener particular cuidado con la palabra "imagen" en microscopía. A veces denota algo que se puede señalar, una forma proyectada en la pantalla, en una micrografía o en lo que sea; pero en otras ocasiones denota algo así como la información que entra por el ojo. La confusión proviene de la óptica geométrica, en la que se hace un diagrama del sistema con un espécimen en foco y una "imagen" en el otro plano focal, donde la "imagen" indica lo que uno vería si pone el ojo allí. Me resisto a hacer una inferencia que puede hacerse incluso a partir de la cita [B]. Puede parecer que todo enunciado acerca de lo que se ve con un microscopio está cargado de teoría: cargado con la teoría de la óptica o de otra radiación. No estoy de acuerdo. Se necesita teoría para hacer un microscopio. No se necesita teoría para usarlo. La teoría puede ayudarnos a entender por qué los objetos percibidos con un microscopio de contraste de fase o de interferencia tienen franjas asimétricas a su alrededor; pero podemos aprender de manera totalmente empírica a ignorar este efecto. Un biólogo difícilmente sabrá suficiente óptica para satisfacer a un

físico. La práctica —me refiero en general a hacer, no a ver— desarrolla la habilidad para distinguir entre los artefactos visibles de la preparación o del instrumento, y la estructura real que se ve con el microscopio. Esta habilidad práctica genera convicción. La habilidad puede requerir que uno entienda algo de biología, aunque es posible encontrarse con técnicos de primera que ni siquiera saben biología. En todo caso, la física simplemente no es importante desde el punto de vista del sentido que el biólogo le da a la realidad microscópica. Las observaciones y las manipulaciones muy pocas veces acarrean una carga de teoría física, y lo poco de teoría que podamos encontrar es independiente de las células o de los cristales que se estén estudiando.

LOS MALOS MICROSCOPIOS

Mucha gente cree que Leeuwenhoek inventó el microscopio, y que a partir de entonces se han hecho versiones cada vez mejores de la misma cosa. Me gustaría corregir esta idea.

Leeuwenhoek no fue el primer microscopista, sino un técnico genial. Sus microscopios tenían una sola lente, y hacía una lente para cada espécimen que iba a ser estudiado. El objeto se montaba en un alfiler exactamente a la distancia apropiada. No sabemos cómo hizo para hacer esos dibujos tan exactos de sus especímenes. La colección más representativa de sus lentes y especímenes estaba en la Royal Society de Londres, de donde se perdió la colección un siglo después en circunstancias que se califican cortésmente de sospechosas. Pero incluso en ese tiempo el pegamento de sus especímenes ya había perdido su fuerza y los objetos empezaban a caerse de sus alfileres. Casi con seguridad Leeuwenhoek obtuvo sus maravillosos resultados gracias a un secreto de iluminación, y no gracias a la manufactura de las lentes, y al parecer nunca reveló su técnica. Tal vez Leeuwenhoek inventó la técnica de la iluminación del campo oscuro, más que el microscopio. Esta conjetura deberá servir como el primero de varios posibles recordatorios de que muchos de los principales avances en la microscopía no han tenido nada que ver con la óptica. Hemos necesitado micrótomos para hacer cortes más delgados de los especímenes, anilina para teñir, fuentes puras de luz y, a niveles más modestos: el tornillo micrométrico para ajustar el foco, fijadores y centrífugas.

Si bien los primeros microscopios crearon un verdadero furor porque mostraban mundos dentro de otros mundos, es importante advertir que, después del microscopio compuesto de Hooke, la tecnología no mejoró sig-

nificativamente. Tampoco aumentó el conocimiento después del furor de las primeras observaciones. La microscopía se convirtió en un juguete de damas y caballeros ingleses. El juguete consistía en un microscopio y una caja de portaobjetos con muestras de los reinos animal y vegetal. Vale la pena hacer notar que la caja de portaobjetos montados podía costar más que el microscopio. No se puede simplemente dejar caer una gota de agua de un charco en un pedazo de vidrio y luego observar. Todo mundo, con excepción del más experto, requiere un portaobjetos ya montado para ver *cualquier cosa*. De hecho, si tomamos en cuenta las aberraciones ópticas, resulta sorprendente que alguien alguna vez hay podido ver algo a través de un microscopio compuesto; aunque, como siempre ocurre con la ciencia experimental, un técnico hábil puede hacer maravillas con un mal instrumento.

Hay unas ocho aberraciones principales en la microscopía luminosa básica. Dos aberraciones importantes son la de esfericidad y la cromática. La primera es el resultado de pulir una lente con frotamientos al azar. Esto, como puede demostrarse, da como resultado que se vea una superficie esférica. Un rayo de luz que viaja en un ángulo pequeño con respecto al eje no va a enfocarse en el mismo punto que un rayo cercano al eje. Los ángulos i para los que el seno i difiere completamente de i dan como resultado rayos de luz sin foco común y, por lo tanto, un punto del espécimen puede verse como algo difuso a través del microscopio. Esto lo comprendía bien Huygens, quien también sabía, en principio, cómo corregir este problema; pero la fabricación de combinaciones prácticas de lentes cóncavos y convexos para evitar la aberración esférica iba a tardar todavía mucho tiempo.

Las aberraciones cromáticas son causadas por diferencias en la longitud de onda de la luz de colores diferentes. Así, la luz roja y la luz azul que parten del mismo punto del espécimen van a enfocarse en puntos diferentes. Una imagen roja bien definida se superpone a una imagen azul confusa, o viceversa. Aunque a los ricos les gustaba tener un microscopio en casa para entretenerse, no es ninguna sorpresa que la ciencia seria no tuviera nada que ver con el instrumento. A menudo se considera a Xavier Bichat el fundador de la histología, el estudio de los tejidos vivos. En 1800 no habría admitido un microscopio en su laboratorio. En la introducción a su *Anatomía general* escribió: "Cuando la gente observa en condiciones de oscuridad, cada quien ve a su manera y según como es afectado, por lo que la observación de las propiedades vitales es lo que debe guiarnos", y no las imágenes difusas que los mejores microscopios nos proporcionan.

Nadie intentó seriamente hacer microscopios acromáticos, porque Newton había escrito que eran físicamente imposibles. Se conviertieron en una

posibilidad con la introducción del cristal de piedra, que tiene índices de refracción diferentes de los del vidrio ordinario. La combinación de dos lentes de índices de refracción diferentes puede neutralizar la aberración perfectamente para un par dado de longitudes de onda rojas y azules. Aunque el resultado es imperfecto a lo largo de todo el espectro, se puede mejorar con una combinación de tres lentes. La primera persona que tuvo las ideas correctas fue tan sigilosa que envió las especificaciones de las lentes de los diferentes cristales a diferentes contratistas. Ambos le dieron el trabajo al mismo artesano, quien entonces astutamente conjeturó que las lentes eran para el mismo aparato. Así, en 1758 la idea fue pirateada. Hubo un juicio por los derechos de patente que decidió en favor del pirata, John Dolland. El veredicto de la corte decía: "No es la persona que escondió en su escritorio la invención quien debe recibir provecho de ella, sino aquel que la pone al servicio del público."[4] El público no se benefició tanto. En la década de 1860 había muchas discusiones acerca de si los glóbulos que se veían a través del microscopio eran artefactos del instrumento o elementos genuinos del material viviente. (Eran artefactos.) Los microscopios fueron cada vez mejores y los recursos auxiliares necesarios mejoraron incluso más rápidamente. Si hacemos una gráfica del desarrollo, encontraremos un valor alto alrededor de 1660, luego un plano suavemente ascendente, hasta que encontramos un gran salto alrededor de 1870; el siguiente gran periodo, todavía vigente, empieza alrededor de 1945. Un historiador ha hecho esta gráfica con gran precisión, utilizando como escala los límites de resolución de instrumentos que aún quedan de las diferentes épocas. Haciendo un juicio subjetivo de las grandes aplicaciones del microscopio, trazaríamos una gráfica similar, sólo que el contraste 1870/1660 sería mayor. Muy pocas cosas dignas de recordarse se encontraron con el microscopio hasta después de 1860. El surgimiento de la nueva microscopía se debe en parte a Abbe, pero la razón más inmediata del avance fue la disponibilidad de la anilina para teñir. La materia viviente es transparente en su mayor parte. Los nuevos tintes hicieron posible ver microbios y mucho más.

ABBE Y LA DIFRACCIÓN

¿Cómo vemos "normalmente"? Generalmente vemos luz reflejada. Pero si empleamos una lupa para ver un espécimen iluminado por detrás, entonces lo que estamos "viendo" es transmisión de luz o absorción. Así, llegamos

[4] Citado en Bradbury, *The Microscope, Past and Present*, p. 130.

a la idea siguiente: ver algo a través de un microscopio luminoso es ver manchas de oscuridad y de luz correspondientes a la proporción de luz que se transmite o que se absorbe. Vemos los cambios en la amplitud de los rayos de luz. Creo que Huygens sabía que algo andaba mal con esta concepción, pero no fue sino hasta 1873 cuando Abbe explicó cómo funciona un microscopio.

Ernst Abbe nos proporciona el más feliz ejemplo de alguien que pasa de pobre a rico. Hijo de un trabajador de una fábrica de tejidos, aprendió matemáticas y obtuvo una beca para cursar la secundaria. Posteriormente fue catedrático de matemáticas, física y astronomía. Su trabajo en óptica hizo que lo contratara el pequeño taller de Carl Zeiss en Jena, y cuando murió Zeiss él se convirtió en el dueño; después de jubilarse se dedicó a la filantropía. Una serie de invenciones prácticas y matemáticas de Abbe transformaron la Carl Zeiss en la mejor fábrica de instrumentos ópticos. Aquí sólo voy a considerar una de estas invenciones.

Abbe estaba interesado en la nitidez o definición de la imagen. El aumento es inútil si al "aumentar" dos puntos distintos se convierten en una mancha borrosa. Es necesario que los dos puntos se vean como dos imágenes distintas. Es una cuestión de difracción. El ejemplo más conocido de difracción es que las sombras de los objetos de bordes precisos son borrosas. Ésta es una consecuencia del carácter ondulatorio de la luz. Cuando la luz pasa entre dos rejillas angostas, una parte de los rayos lo hace directamente, pero algunos se desviarán en diferentes ángulos con respecto al rayo principal: éstos son los rayos difractados de primer orden, de segundo orden, etcétera.

Abbe se propuso resolver el problema de obtener una imagen definida (esto es, de distinguir visiblemente) de las líneas paralelas de una diatomea (las diatomeas son las criaturas del océano que las ballenas comen por millones). Estas líneas están muy cercanas unas de las otras y tienen una separación y un ancho casi uniforme. Pronto logró aprovechar rejillas de difracción artificiales incluso más regulares. El análisis de Abbe es un ejemplo interesante de la manera como se aplica la ciencia pura; formuló la teoría para el caso puro en el que se observa una diatomea o rejilla de difracción, e infirió de allí que esto representa la complejidad infinita de la física de ver un objeto heterogéneo en el microscopio.

Cuando la luz encuentra una rejilla de difracción, la mayoría de la luz se difracta en lugar de transmitirse. Sale de la rejilla en ángulos correspondientes a difracciones del primero, de segundo o de tercer orden. Estos ángulos de los rayos difractados son en parte una función de las distancias que hay entre las líneas del enrejado. Abbe se dio cuenta de que para ver las rejillas del enrejado se tenía que recoger no sólo la luz transmitida, sino

también, por lo menos, los rayos difractados de primer orden. Lo que se ve se representa mejor mediante una síntesis de Fourier de los rayos transmitidos y los difractados. Así, según Abbe, la imagen del objeto se produce por la interferencia de las ondas de luz emitidas por la imagen principal, y las imágenes secundarias de la fuente de luz que son el resultado de la difracción.

Las aplicaciones prácticas abundan. Evidentemente, se van a incluir más rayos difractados si se abre más la apertura de las lentes del objetivo, pero entonces, concomitantemente, se aumenta bastante la aberración esférica. Una alternativa es cambiar el medio entre el espécimen y la lente. En algo más denso que el aire, como en el caso de un microscopio de inmersión en aceite, se capturan más de los rayos difractados con una apertura dada y, por lo tanto, se aumenta la capacidad de definición del microscopio.

Si bien es cierto que los primeros microscopios de Abbe-Zeiss eran buenos, la teoría en la que se fundamentan no fue aceptada durante años, sobre todo en Inglaterra y Estados Unidos, que habían dominado el mercado por un siglo. Cerca de 1910, todavía los mejores microscopios ingleses, construidos sobre la base de pura experiencia empírica, con algunas ideas robadas de Abbe, ofrecían una definición tan buena o mejor que la del mejor equipo Zeiss. Esto no es nada fuera de lo común. Si bien los barcos de vela han sido parte de la cultura humana desde sus principios, los grandes adelantos en los barcos de vela fueron hechos entre 1870 y 1900, cuando los barcos de vapor ya los habían vuelto anticuados. Fue sólo en este tiempo que la artesanía llegó a su punto culminante. Lo mismo sucedió con el microscopio; pero, por supuesto, los artesanos ingleses de la microscopía, cuyo trabajo era tan costoso, estaban tan condenados al fracaso como el buque de vela.

No era, sin embargo, sólo rivalidad comercial o nacionalismo lo que hizo que alguna gente titubeara en creer en Abbe. Como señalé anteriormente, la cita [A] se usa en *El microscopio* de Gage. En la novena edición de ese texto (1901), el autor se refiere a la teoría alternativa que dice que la visión microscópica es la misma que la de "el ojo sin ayuda alguna, el telescopio y la cámara fotográfica. Ésta es la teoría primitiva, y la teoría que muchos favorecen ahora". En la undécima edición (1916) esto se modifica: "Algunos experimentos notables se han ideado para mostrar que la hipótesis de Abbe es correcta; pero, como muchos han notado, el uso corriente del microscopio nunca involucra las condiciones que ejemplifican esos experimentos." Éste es un buen ejemplo de lo que Lakatos llama un programa-de-investigación degenerado. El pasaje permanece casi sin alteración incluso en la decimoséptima edición (1941). Así pues, había una repugnancia muy profunda

hacia la doctrina de Abbe que, como la cita [A] dice, "no hay ni puede haber comparación entre la visión microscópica y la visión macroscópica".

Si se sostiene que lo que vemos es esencialmente una cuestión de cierto tipo de proceso físico en el ojo (como mi cita más moderna [B] parece sostener), entonces todo lo demás debe estar más bien en el dominio de la ilusión óptica o, en todo caso, en el mapa de la imagen. Según esta teoría, los sistemas de Leeuwenhoek y de Hooke nos permiten ver. Después de Abbe, incluso el microscopio convencional luminoso es esencialmente un sintetizador de Fourier de difracciones de primero o de segundo orden. Siendo así, se debe modificar nuestra noción de ver, o bien, se debe sostener que nunca vemos a través de un gran microscopio. Antes de llegar a una conclusión sobre esta cuestión, examinemos mejor algunos instrumentos más recientes.

UNA PLÉTORA DE MICROSCOPIOS

Veamos la situación después de la segunda guerra mundial. La mayoría de las ideas habían aparecido en el periodo comprendido entre la primera y la segunda guerras mundiales, pero no llegaron a concretarse en algo más que prototipos hasta más tarde. Hay una invención que es mucho más antigua pero que no se aprovechó durante un largo periodo.

El primer problema práctico para el biólogo celular es que la mayor parte de la materia viva no se ve en un microscopio de luz ordinaria porque es transparente. Para ver algo se tiene que teñir el espécimen. La mayoría de las anilinas son venenos poderosos; por tanto, lo que se ve es una célula muerta que muy posiblemente está dañada estructuralmente, y que muestra características que son artefactos de la preparación. Sin embargo, resulta que la materia viva varía en sus propiedades birrefringentes (de polarización). Incorporemos, pues, a nuestro microscopio un polarizador y un analizador. El polarizador transmite al espécimen sólo luz polarizada de ciertas propiedades. En el caso más simple, pongamos el analizador en ángulo recto con el polarizador, de tal manera que sólo la luz polarizada opuesta a la del polarizador sea transmitida. El resultado es una oscuridad total. Pero supongamos que el espécimen es birrefringente; puede, entonces, cambiar el plano de polarización de la luz incidente y, en consecuencia, es posible la formación de una imagen en el analizador. De esta manera se pueden observar las fibras transparentes de un músculo estriado, sin ningún tinte, y utilizando únicamente ciertas propiedades de la luz que normalmente no "vemos".

La teoría de Abbe de la difracción, aumentada con el microscopio de polarización, lleva a algo así como una revolución conceptual. No necesitamos las estructuras "normales" de la física de la visión para percibir estructuras en la materia viva. En realidad, ésta se usa muy poco, de todas maneras. Incluso en los casos más comunes, sintetizamos los rayos difractados en lugar de ver un espécimen por medio de la física de la visión "normal". El microscopio de polarización nos recuerda que la luz es mucho más que refracción, absorción y difracción. Podríamos utilizar cualquier propiedad de la luz que interactúa con un espécimen para estudiar la estructura del espécimen. En efecto, podríamos emplear cualquier propiedad de cualquier tipo de onda.

Aun si nos restringimos a la luz hay mucho por hacer. La luz ultravioleta duplica la capacidad de definición, aunque su interés principal reside en tomar en cuenta las absorciones específicas del ultravioleta que son típicas de ciertas sustancias biológicas importantes. En la microscopía fluorescente, la iluminación incidente se cancela, y lo que se observa es sólo la luz reemitida en diferentes longitudes de onda de fosforescencia o fluorescencia natural o inducida. Ésta es una técnica muy valiosa de la histología para ciertos tipos de materia viva. Más interesante que el uso poco común de los modos de transmisión o emisión de la luz es lo que podemos hacer con la luz misma: el microscopio de contraste de fase de Zernicke y el microscopio de interferencia de Nomarski.

Un espécimen transparente es uniforme con respecto a la absorción de la luz. Puede tener aún diferencias invisibles en el índice de refracción en varias partes de su estructura. El microscopio de contraste de fase las convierte en diferencias visibles de intensidad en la imagen del espécimen. En un microscopio ordinario la imagen se sintetiza a partir de las ondas difractadas D y las ondas directamente transmitidas U. En el microscopio de contraste de fase, las ondas U y D se separan de una manera ingeniosa aunque físicamente muy simple, y uno de los tipos de onda se somete a un retraso de fase que produce el efecto en el foco de contrastes de fase correspondientes a las diferencias en el índice de refracción del espécimen.

El microscopio de contraste por interferencia es tal vez más fácil de entender. La fuente de luz se divide por medio de un espejo semiplateado: la mitad de la luz pasa por el espécimen y la otra mitad se mantiene como una referencia no afectada que luego se recombina con la otra y produce la imagen final. Los cambios en las trayectorias ópticas debidos a los diferentes índices de refracción en el espécimen producen efectos de interferencia con el rayo de referencia.

El microscopio de interferencia produce en los bordes orlas ilusorias, pero es particularmente valioso porque proporciona una determinación cuantitativa de los índices de refracción que hay en el espécimen. Por supuesto, una vez que tenemos tales instrumentos a nuestra disposición, podemos construir muchas variantes, como los microscopios de interferencia de luz polarizada, los de interferencia de varios haces, los de interferencia de fase modulada, etcétera.

TEORÍA Y RAZONES PARA CREER

Algo de teoría de la luz es, por supuesto, esencial para construir un nuevo tipo de microscopio, y es importante por lo general para mejorar un tipo ya existente. Los microscopios de interferencia o de constraste de fase muy difícilmente se hubieran inventado sin una teoría ondulatoria de la luz. La teoría de la difracción ayudó a Abbe a hacer mejores microscopios. No deberíamos, sin embargo, subestimar el papel de lo preteórico de la invención ni del ensayo y error con experimentos. Por varias décadas, los viejos fabricantes empíricos de microscopios hicieron mejores microscopios que Zeiss. Cuando la idea del microscopio electrónico fue puesta en práctica, los fabricantes corrieron un gran riesgo, porque la gente estaba convencida, basada en cálculos teóricos, de que el espécimen se freiría casi instantáneamente y después se quemaría. El microscopio de rayos X ha sido una posibilidad teórica por mucho tiempo, pero sólo podrá construirse efectivamente en los próximos años si se utilizan rayos de alta calidad que pueden obtenerse de un acelerador lineal. Algo semejante sucede con el microscopio acústico, que se describirá más adelante. Por bastante tiempo ha sido una posibilidad obvia, pero sólo en los últimos diez años se pudo disponer de la electrónica rápida que se necesita para producir buen sonido de alta frecuencia y analizadores de calidad. La teoría involucrada es del tipo de la que se aprende en un primer curso de física en la universidad. Lo que cuenta es la ingeniería.

Puede parecer que la teoría entra en otro nivel. ¿Por qué creemos en las imágenes que construimos cuando utilizamos el microscopio? ¿No es porque tenemos una teoría que nos dice que estamos produciendo una imagen verdadera? ¿No es éste otro caso de la idea de Shapere de que lo que llamamos observación está determinado por la teoría? Sólo en parte. A pesar de Bichat, mucha gente correctamente creía lo que veía a través de los microscopios antes de Abbe, aunque no tenían más que una teoría inadecuada y simplista (e incorrecta) para apoyarlos. Lo que se ve es curiosamente re-

sistente a cambios de teoría. Se genera una imagen, y se tiene una teoría de por qué un pequeño espécimen se ve de esa forma. Más tarde la teoría del microscopio cambia, pero todavía puede seguirse creyendo en la representación. ¿Puede la teoría ser realmente la fuente de nuestra confianza de que lo que vemos es la manera como son las cosas?

Heinz Post me escribió una carta en la que dice que hacía mucho tiempo había examinado el microscopio de emisión de campo para ilustrar la importancia de producir representaciones visuales de moléculas grandes (su ejemplo se refería a anillos de antraceno). En esa época se consideraba que esto confirmaba lo que F.A. Kekule (1829–1896) había postulado en 1865: que las moléculas de benzeno son anillos que contienen seis átomos de carbono. La teoría original acerca del microscopio de emisión de campo era que uno veía esencialmente las sombras de las moléculas, esto es, que estábamos observando un fenómeno de absorción. Post supo mucho tiempo después que la teoría había cambiado. Lo que se observaba eran fenómenos de difracción. Eso no hizo ninguna diferencia. La gente siguió mirando las micrografías de las moléculas como si fueran representaciones genuinas. ¿Es todo esto algún tipo de truco? Sólo una filosofía dominada por la teoría nos llevaría a pensar así. La vida experimental de la microscopía emplea medios no teóricos para distinguir entre artefactos y lo que es verdadero. Veamos cómo lo hace.

LA VERDAD EN LA MICROSCOPÍA

> La técnica del diferencial de interferencia y constraste se distingue por las siguientes características. En ambos, los contornos claramente visibles del objeto (sus límites) y las estructuras continuas (sus estrías) aparecen en su verdadero perfil.

Así dice un catálogo de ventas de Carl Zeiss que tengo a la mano. ¿Qué es lo que hace suponer al vendedor entusiasta que las imágenes producidas por esa multitud de sistemas ópticos son "verdaderas"? Por supuesto, las imágenes son verdaderas cuando uno ha aprendido a dejar a un lado las distorsiones. Hay muchas razones que lo llevan a uno a convencerse de que un poco de estructura percibida es real o verdadera. Una de las más naturales es la más importante. Ilustraré esto con mi primera experiencia en el laboratorio. La microscopía electrónica de baja potencia revela pequeños puntos en los glóbulos rojos. Se les llama cuerpos densos: simplemente quiere decir que son densos para los electrones, y aparecen en el microscopio

de transmisión de electrones sin ninguna preparación o teñido. Basándose en los movimientos y densidades de estos cuerpos en diversos estadios del desarrollo o de la enfermedad de la célula, se especula que desempeñan un papel importante en la biología de la sangre. Por otra parte, podrían también ser sólo artefactos del microscopio electrónico. Una prueba es obvia: ¿pueden observarse estos cuerpos peculiares por medio de técnicas diferentes? En este caso el problema se resuelve fácilmente. El microscopio electrónico de baja definición es más o menos de la misma potencia que un microscopio luminoso de alta potencia. Los cuerpos densos no aparecen con cualquier técnica, pero el teñido fluorescente los revela cuando se observan subsecuentemente en el microscopio de fluorescencia.

Rebanadas de glóbulos rojos se fijan en una rejilla microscópica. Literalemente es una rejilla: cuando vemos a través del microscopio, se ve una rejilla en la que cada uno de sus cuadros está marcado con una letra. Las micrografías electrónicas se hacen de rebanadas montadas sobre tales rejillas. Los especímenes con configuraciones particularmente extrañas de cuerpos densos se preparan así para la microscopía fluorescente. Finalmente se comparan las micrografías electrónicas y las micrografías fluorescentes. Uno sabe que las micrografías muestran el mismo pedazo de la célula, porque este pedazo está claramente en el cuadrado de la rejilla marcado con una P, digamos. En la micrografía fluorescente tenemos exactamente el mismo arreglo de la rejilla, de la estructura general de la célula y de los "cuerpos" que se ven en la micrografía electrónica. Se infiere que los cuerpos no son un artefacto de la microscopía electrónica.

Dos procesos físicos —la transmisión electrónica y la reemisión fluorescente— se usan para detectar los cuerpos. Estos procesos no tienen prácticamente nada en común entre ellos. Son esencialmente partes de la física no relacionadas. Sería una coincidencia ridícula si, una y otra vez, dos procesos físicos totalmente diferentes produjeran configuraciones visuales que fueran, no obstante, artefactos de esos procesos físicos y no estructuras reales de la célula.

Es importante recalcar que, en la vida real, nadie invoca este "argumento de coincidencias". Uno simplemente mira los dos (o más) conjuntos de micrografías de los diferentes sistemas físicos y ve que los cuerpos densos aparecen exactamente en el mismo lugar en cada pareja de micrografías. Esto resuelve la cuestión al instante. Mi maestro Richard Skaer esperaba poder demostrar que los cuerpos densos eran artefactos. Cinco minutos después de examinar sus micrografías experimentales se dio cuenta de que se había equivocado.

Nótese también que nadie tiene que tener alguna idea de lo que son los cuerpos densos. Todo lo que sabemos es que hay algunas características estructurales de la célula que se hacen visibles por medio de diferentes técnicas. La microscopía misma nunca nos va a decir todo acerca de esos cuerpos (si hay algo importante que decir). Para eso debemos recurrir a la bioquímica. Además, ahora es posible hacer un análisis espectroscópico instantáneo de un cuerpo denso en sus elementos constituyentes, combinando un microscopio electrónico y un analizador espectroscópico. Esto trabaja de manera muy similar a los análisis espectroscópicos de las estrellas.

LA COINCIDENCIA Y LA EXPLICACIÓN

Este argumento de la coincidencia puede parecer un caso especial del argumento del accidente cósmico mencionado al final del capítulo 3. Las teorías explican fenómenos diversos, y sería un accidente cósmico si la teoría fuera falsa y no obstante predijera correctamente los fenómenos. "Inferimos hacia la mejor explicación" que la teoría es verdadera. La causa común de los fenómenos deben ser los entes teóricos postulados por la teoría. Como argumento en favor del realismo, esta idea ha generado mucha discusión. Podría parecer que hablar de coincidencias me pone en medio de una batalla que ya se está librando. Pero no es así. Mi argumento es mucho más localizado.

Primero que nada, tales argumentos se ponen en términos de un vocabulario observacional y otro teórico. ("Muchos accidentes felices se complementan para efectuar el comportamiento mencionado en el vocabulario observacional, como si fueran el producto de las cosas no existentes de las que habla el vocabulario teórico.") A nosotros no nos preocupan los vocabularios teórico y observacional. Puede que no haya un vocabulario teórico para las cosas que se ven en el microscopio —"cuerpo denso" no significa nada más que algo denso, esto es, algo que aparece en el microscopio electrónico sin tintes u otra preparación. En segundo lugar, no estamos preocupados por explicar. Vemos las mismas constelaciones de puntos ya sea que utilicemos un microscopio electrónico o una tintura fluorescente, y no es una "explicación" de esto decir que algún tipo definido de cosa (cuya naturaleza es desconocida) es responsable del arreglo persistente de puntos. En tercer lugar, no tenemos una teoría que prediga una amplia variedad de fenómenos. La cuarta y tal vez más importante diferencia es ésta: nos interesa distinguir los artefactos de los objetos reales. En las disputas metafísicas acerca del realismo, el contraste es entre "un ente real pero no

observable" y "un ente no real que es un instrumento del pensamiento". Con el microscopio sabemos que hay puntos en la micrografía. La pregunta es si son artefactos del sistema físico o si son una estructura presente en el espécimen mismo. Mi argumento de coincidencia simplemente dice que sería una coincidencia ridícula si dos tipos de sistemas físicos totalmente diferentes produjeran exactamente el mismo tipo de arreglo de puntos en las micrografías.

EL ARGUMENTO DEL ENREJADO

Ahora me aventuraré a elaborar un apartado filosófico sobre el tema del realismo científico. Van Fraassen dice que podemos ver a través de un telescopio porque, si bien necesitamos el telescopio para ver las lunas de Júpiter desde la Tierra, podríamos ir y ver las lunas a simple vista. Esto no es tan fantástico como parece, porque hay un número muy pequeño de gente viva ahora que según parece puede distinguir las lunas de Júpiter a simple vista. Para los que tenemos una visión menos aguda, esto es ciencia ficción, al menos por el momento. El microscopista evita la fantasía. En lugar de viajar a Júpiter, encogemos el mundo visible. Consideremos el enrejado utilizado para reidentificar los cuerpos densos. Las rejas diminutas están hechas de metal; son apenas visibles a simple vista. Se hacen dibujando un enrejado con pluma y tinta. Las letras se inscriben cuidadosamente en la esquina de cada cuadrado del enrejado. Luego el enrejado se reduce fotográficamente. Empleando lo que ahora ya son técnicas corrientes, un metal se deposita en la micrografía resultante. Los enrejados se venden en paquetes, o más bien en tubos, de 100, 250 y 1 000 unidades. Los procedimientos para hacer estos enrejados se entienden perfectamente, y son tan confiables como cualquier otro producto de alta calidad producido en serie.

En resumen, en lugar de transportarnos a Júpiter en una nave espacial imaginaria, rutinariamente encogemos un enrejado. Entonces miramos el disco diminuto a través de casi cualquier tipo de microscopio y vemos exactamente las formas y letras que fueron dibujadas anteriormente en otra escala. Es imposible sostener seriamente la idea de que el disco diminuto que estoy sosteniendo con unas pinzas no tiene en realidad la estructura de un enrejado etiquetado. Sé que lo que veo a través del microscopio es verídico porque nosotros hicimos el enrejado precisamente de esa manera. Sé que el proceso de manufactura es confiable porque podemos verificar los resultados con el microscopio. Es más, podemos verificar los resultados con cualquier tipo de microscopio, empleando un proceso físico de entre

una docena de procesos físicos no relacionados para producir la imagen. ¿Podemos todavía pensar seriamente en la posibilidad de que todo esto no es más que una coincidencia gigantesca? ¿Es falso que el disco tenga, microscópicamente, la forma de una enrejado etiquetado? ¿Podría ser una conspiración gigantesca de trece procesos físicos sin ninguna relación entre ellos que un enrejado macroscópico se encogió en algo que no es un enrejado pero que cuando se observa por medio de doce tipos diferentes de microscopios todavía se mira como un enrejado? Para ser un antirrealista acerca de ese enrejado, tendría que invocarse a un espíritu maligno cartesiano de los microscopios.

El argumento del enrejado requiere el sano reconocimiento de la falta de unidad de la ciencia, por lo menos en el nivel fenomenológico. Todos los microscopios luminosos, obviamente, utilizan luz; pero la interferencia, la polarización, el contraste de fase, la transmisión directa, la fluorescencia, etcétera, explotan aspectos fenomenológicos de la luz esencialmente no relacionados entre sí. Si la misma estructura puede discernirse utilizando varios de estos aspectos diferentes de las ondas luminosas, no podemos suponer seriamente que la estructura es un artefacto de todos esos sistemas físicos diferentes. Es más, recalco que todos esos sistemas físicos están hechos por seres humanos. Purificamos un aspecto de la naturaleza, aislando, por ejemplo, las características que permiten la interferencia de fase de la luz. Diseñamos un instrumento sabiendo en principio cómo va a trabajar, sólo porque la óptica se entiende tan bien como la ciencia. Le dedicamos varios años al trabajo de perfeccionar varios prototipos, y finalmente tenemos un instrumento a través del cual podemos discernir una estructura particular. Otros instrumentos, producidos ya en serie, revelan la misma estructura. Nadie que no sea el escéptico cartesiano puede suponer que la estructura está hecha por los instrumentos en lugar de ser inherente al espécimen.

En 1800 no sólo era posible, sino perfectamente entendible, prohibir el microscopio en el laboratorio de histología, ya que muchas veces lo que permitía ver eran artefactos de sistemas ópticos y no las estructuras de las fibras. Éste no es el caso ahora. Siempre es un problema en la innovación de microscopios convencerse de que lo que uno ve está realmente en el espécimen y no es un artefacto de la preparación óptica. Pero en 1983, a diferencia de 1800, tenemos un gran arsenal de maneras de convencernos de ello. He subrayado el aspecto "visual". Incluso esto está simplificado. He dicho que si se pueden ver los mismos rasgos fundamentales de la estructura utilizando diferentes sistemas físicos, entonces se tienen muy buenas razones para decir, "esto es real" en lugar de "esto es un artefacto". No es una razón concluyente. Pero la situación no es diferente de la

visión ordinaria. Si uno observa en un día caluroso manchas negras en el asfalto de un carretera desde perspectivas diferentes, y siempre en el mismo lugar, uno concluye que ve charcos y no ilusiones. Uno puede estar equivocado. También en microscopía uno se equivoca de vez en cuando. Por cierto, la misma similitud de los errores que se cometen en percepción macroscópica y microscópica deberían llevarnos a decir que vemos a través del microscopio.

Tengo que repetir que, así como sucede con la visión macroscópica, las imágenes que se obtienen o las micrografías son sólo una parte de la confianza en la realidad. En una conferencia reciente, el biólogo molecular G.S. Stent recordaba que, a finales de los años cuarenta, la revista *Life* imprimió en la portada una micrografía electrónica a todo color con la emocionante leyenda: "La primera fotografía de un gene" (17 de marzo de 1947). Si tomamos en cuenta la teoría o la falta de teoría del gene en ese tiempo, decía Stent, el título no tenía sentido. Sólo un entendimiento mucho mayor de lo que es un gene puede traer consigo la convicción de lo que muestra la micrografía. Llegamos a convencernos de la realidad de las bandas de los cromosomas y de lo que está entre ellas no sólo porque los vemos, sino porque formulamos concepciones de lo que hacen, de por qué están allí. Pero, en este sentido también, la visión microscópica y la macroscópica no son diferentes: un esquimal en el Congo no va a ver mucho en el nuevo ambiente extraño hasta que no empiece a tener una idea de lo que hay en la selva.

Por ello, no propongo el argumento de la coincidencia como la única base de nuestra convicción de que vemos a través del microscopio. Éste es un elemento, un elemento visual convincente, que se combina con otros modos más intelectuales del entendimiento, y con otros tipos de trabajo experimental. La microscopía biológica sin la bioquímica práctica es tan ciega como las intuiciones de Kant en la ausencia de conceptos.

EL MICROSCOPIO ACÚSTICO

Aquí evito el microscopio electrónico. Ya no existe "el" microscopio electrónico, como tampoco "el" microscopio luminoso: se utilizan una gran variedad de propiedades diferentes de haces de electrones. Éste no es el lugar para explicar todo esto, pero si tenemos en mente un conjunto muy raquítico de ejemplos basados en las propiedades de la luz visible, consi-

deremos brevemente el tipo de radiación más disparatada que nos podamos imaginar: el sonido.[5]

El radar, inventado para la guerra aérea, y el sonar, inventado para la guerra en el mar, nos recuerdan que las ondas longitudinales y las ondas transversales pueden emplearse para propósitos del mismo tipo. El ultrasonido es "sonido" de muy alta frecuencia. El examen por ultrasonido del feto en el vientre materno ha recibido últimamente mucha publicidad bien merecida. Hace más de cuarenta años los científicos soviéticos propusieron la creación de un microscopio que utilizara sonido de una frecuencia 1 000 veces mayor que la del sonido audible. Esta idea llegó a estar al alcance de la tecnología sólo recientemente. Algunos prototipos útiles ya están en operación.

La parte acústica del microscopio es relativamente simple. Las señales eléctricas se convierten en señales de sonido y, posteriormente, después de la interacción con el espécimen, se reconvierten en electricidad. La sutileza de los instrumentos recientes está en la electrónica y no en la acústica. El microscopio acústico es un examinador (*scanner*). Para producir sus imágenes convierte las señales que llevan la información en un desplegado espacial en una pantalla de televisión, una micrografía o, cuando se estudian un gran número de células, en una cinta de video.

Como siempre, un nuevo tipo de microscopio es interesante porque puede revelar nuevos aspectos de un espécimen. Los cambios en el índice de refracción son muchísimo mayores para el sonido que para la luz. Además, el sonido se transmite en objetos que son completamente opacos. Es por ello que una de las primeras aplicaciones importantes del microscopio acústico se encuentra en la metalurgia, y también en la detección de defectos en los *chips* de silicón. Para el biólogo, las perspectivas son también sorprendentes. El microscopio acústico es sensible a la densidad, la viscosidad y la flexibilidad de la materia viva. Además, los impulsos sonoros breves del examinador o *scanner* no dañan inmediatamente a la célula, por lo que se puede literalmente estudiar la vida de la célula: se podrán observar cambios en la viscosidad y en la flexibilidad mientras la célula funciona.

El desarrollo rápido de la microscopía acústica no permite decir hacia dónde va. Hace unos años los informes de investigación negaban cuidadosamente la posibilidad de competir con los microscopios electrónicos; se contentaban con alcanzar una definición comparable a la de los microscopios luminosos. Ahora, utilizando las propiedades del sonido en sólidos

[5] Véase, por ejemplo, C.F. Quate, "The Acoustic Microscope", *Scientific American*, no. 241, octubre de 1979, pp. 62–69.

superenfriados, se puede emular la definición de los microscopios electrónicos, aunque esto no es de mucha ayuda para el estudioso del tejido vivo.

Pero ¿vemos a través de un microscopio acústico?

VER CON EL MICROSCOPIO

El primer paso de la tecnología fue ver a través de una lente. Después vino el siguiente paso: ver a través del tubo de un microscopio compuesto; pero ver "a través" del instrumento no es importante. Estudiamos fotografías tomadas con un microscopio. Gracias a la enorme profundidad de foco de un microscopio electrónico, es natural ver la imagen en una gran superficie plana para que todos los interesados puedan situarse alrededor y señalar lo que les parezca interesante. Los microscopios que emplean *scanner* necesariamente forman una imagen en una pantalla o en una placa. Cualquier imagen puede digitalizarse y retransmitirse por televisión. Es más, la digitalización es maravillosa para eliminar ruido e incluso para reconstituir la información perdida. Pero no hay que deslumbrarse con la tecnología. En el estudio de la estructura cristalina, una buena manera de librarse del ruido es cortando una micrografía de manera sistemática, volverla a unir, y fotografiarla de nuevo mediante la contrastación de interferencia. En general no vemos a través de un microscopio; vemos con uno de ellos. Pero *¿vemos* con un microscopio? Sería tonto discutir acerca del significado usual de la palabra "ver", sobre todo si tenemos en cuenta los usos citados al final del último capítulo, en los que "vemos" la mayoría de los fermiones u "observamos" el núcleo solar con neutrinos. Consideremos un instrumento para aviones de vuelo rasante que llevan cargas nucleares, volando a unos cuantos metros de la superficie de la tierra para evitar la detección del radar. La escala horizontal y la vertical son ambas de interés para el piloto, que necesita ver unas cuantas decenas de metros abajo y varios kilómetros a lo lejos. La información visual está digitalizada, procesada y proyectada a nivel de la cabeza en el vidrio de la cabina. Las distancias están acortadas y la altitud aumentada. ¿Ve el piloto el terreno? Sí. Nótese que éste es un caso en el que el piloto no podría ver el terreno simplemente bajándose del avión y echando una mirada alrededor. No hay manera de ver tal cantidad de terreno sin un instrumento.

Considérese el microscopio de difracción electrónico, con el que se producen imágenes de cristales en un espacio convencional o recíproco —hoy en día, con el simple uso de un interruptor—. Debido a que los puntos de una difracción de electrones son recíprocos respecto a la estructura atómica

del cristal, el espacio recíproco es, por así decirlo, un espacio convencional vuelta de dentro hacia afuera. Lo cercano está lejos y lo lejano está cerca. Los cristalógrafos muchas veces encuentran muy natural estudiar los especímenes en el espacio recíproco. ¿Ven en el espacio recíproco? Ellos dicen que sí, y con ello ponen en duda la doctrina kantiana de la unicidad del espacio perceptual.

¿Qué tanto se podría extrapolar el concepto de ver? Supongamos que tomo un pincel electrónico y pinto en una pantalla de televisión una célula (a) que he estudiado antes utilizando, por ejemplo, una imagen digitalizada y reconstituida (b). Aun si estoy "viendo" la célula en el caso (b), en (a) sólo estoy viendo la pintura de una célula. ¿Cuál es la diferencia? El rasgo importante es que en (b) hay una interacción indirecta entre una fuente de ondas, un objeto y una serie de sucesos físicos que culminan en la imagen del objeto. Para usar la cita [B] de nuevo, en el caso (b) tenemos un mapa de las interacciones que hay entre el espécimen y la radiación que produce la imagen. Si el mapa es bueno, entonces (b) se ve con el microscopio.

Ésta es sin lugar a dudas una extensión liberal de la noción de ver. Vemos con un microscopio acústico. Vemos con la televisión, por supuesto. No decimos que vimos un intento de asesinato *con* la televisión, sino *en* la televisión. Ésta es sólo una manera de hablar, heredada de "lo oí en la radio". Distinguimos entre ver una transmisión en vivo y una que no lo es. Hay una gran cantidad de distinciones que se hacen con diversos adverbios, adjetivos y preposiciones. No sé de ninguna confusión que haya resultado de decir que se ve con el microscopio.

EL REALISMO CIENTÍFICO

Cuando una imagen es un mapa de interacciones entre el espécimen y la imagen de radiación, y el mapa es bueno, entonces vemos con el microscopio. ¿Qué es un buen mapa? Después de descartar aberraciones o artefactos y de no hacerles caso, el mapa debería representar alguna estructura del espécimen en esencialmente el mismo conjunto de relaciones de dos —o tres— dimensiones que están presentes en el espécimen.

¿Tiene esto algo que ver con el realismo científico? En primer lugar, tenemos que reconocer que sólo modestamente puede tener algo que ver. Imaginémonos un lector inicialmente atraído por van Fraassen, que pensaba que los objetos que sólo son visibles con microscopios luminosos no se cuentan entre los observables. El lector podría cambiar de idea y admitir

tales objetos en la clase de los entes observables. Esto dejaría intactas todas las principales posiciones filosóficas antirrealistas de van Fraassen.

Pero si concluimos que vemos con los microscopios luminosos, ¿se sigue que los objetos que vemos son reales? No. Todo lo que he dicho es que no deberíamos sujetarnos al positivismo-con-fenomenología del siglo XIX, y que deberíamos permitirnos hablar de ver con el microscopio. Tal recomendación implica una adhesión firme a un realismo respecto a la microscopía, pero no es un argumento por el realismo. Esto está claro en mi cita de la física de altas energías, con su alegre manera de decir que hemos visto neutrinos electrónicos, y así sucesivamente. El físico es también un realista, y esto lo muestra cuando utiliza la palabra "ver", pero su uso no es un *argumento* que demuestre que haya tales cosas.

¿La microscopía no tiene nada que decir con respecto al realismo? No. Estamos convencidos de las estructuras que observamos utilizando varios tipos de microscopios. Nuestra convicción surge parcialmente de nuestro éxito en eliminar sistemáticamente aberraciones y artefactos. En 1800 no existían tales logros. Bichat prohibió el microscopio de sus cuartos de disección, ya que entonces no se podían observar estructuras cuya existencia en los especímenes se pudiera confirmar. Pero ahora hemos logrado eliminar la gran mayoría de las aberraciones; hemos eliminado muchos artefactos, ignorado otros, y estamos siempre en busca de fraudes que no se hayan detectado todavía. Estamos convencidos de la existencia de las estructuras que aparentemente vemos porque podemos interferir con ellas en sentidos puramente físicos, microinyectando, por ejemplo. Estamos convencidos porque diferentes instrumentos que utilizan principios físicos muy diferentes nos llevan a observar las mismas estructuras en el mismo espécimen. Estamos convencidos basándonos en nuestra clara comprensión de la mayor parte de la física que utilizamos para construir los instrumentos que nos permiten ver, pero este convencimiento teórico desempeña un papel relativamente pequeño. Es más convincente la admirable intersección con la bioquímica, pues confirma que las estructuras que distinguimos con el microscopio también se distinguen por propiedades químicas particulares. No estamos convencidos por una poderosa teoría deductiva acerca de la célula —no hay tal teoría— sino por el gran número de generalizaciones de bajo nivel que se superponen y nos permiten controlar y crear fenómenos en el microscopio. La nueva teoría de la visión de Berkeley no es tal vez toda la verdad acerca de la visión infantil binocular tridimensional, pero seguramente va en la dirección correcta cuando entramos a los mundos dentro de otros mundos que el microscopio nos revela.

12

LA ESPECULACIÓN, EL CÁLCULO, LOS MODELOS Y LAS APROXIMACIONES

He desaprobado la idea de que hay una sola práctica, la observación. Debemos ahora aplicar las mismas tácticas al otro miembro de ese antiguo dúo de teoría y observación. La teoría, como la observación, no es una cosa de un solo tipo. Un ejemplo rico pero elemental ilustra este hecho.

EL EFECTO FARADAY

Michael Faraday (1791–1867), un aprendiz de encuadernador de libros, consiguió a los veintiún años el puesto de asistente de Humphry Davy. Luego logró muchas cosas que hicieron avanzar el conocimiento y transformar nuestras máquinas. Sus dos invenciones más importantes van de la mano: la invención del motor eléctrico (y, a la inversa, del dinamo eléctrico); y el descubrimiento de que los cambios en la corriente producen cambios en la intensidad magnética (a la inversa, la rotación en un campo magnético genera corriente). También aportó lo que se conoce con el nombre de efecto Faraday, o efecto magneto-óptico. Faraday encontró que el magnetismo puede afectar la luz. Esto tiene una importancia histórica enorme, pues sugirió la posibilidad de que hubiera una teoría unificada de la luz y el electromagnetismo. James Clerk Maxwell la formuló alrededor de 1861 y la presentó sistemáticamente en 1873. El efecto Faraday fue demostrado experimentalmente en 1845.

Faraday, un hombre profundamente religioso, estaba convencido de que las fuerzas de la naturaleza estaban interconectadas. Newton dio lugar a una ciencia unificada que duró hasta 1800. En ese año, como vimos en el capítulo 10, William Herschel planteó el problema del calor radiante. En el mismo año, Guiseppe Volta hizo la primera pila voltaica. Por primera vez había una fuente de corriente eléctrica continua, que, como Øersted mostró poco después, podía afectar la aguja de una brújula. En 1801,

Thomas Young formuló la teoría ondulatoria de la luz y puso fin a un siglo de predominio de la teoría newtoniana de los rayos luminosos. En pocas palabras, la unidad newtoniana de la ciencia estaba en ruinas. Además, no había una conexión aparente entre las fuerzas del electromagnetismo, de la gravedad y de la luz. Michael Faraday se dedicó a resolver esta cuestión. David Brewster, el gran experimentalista mencionado en el capítulo 9, había mostrado en 1819 que si se ponía tensión en cierto tipo de vidrio, se podía hacer que el vidrio polarizara la luz. Utilizando esta analogía, Faraday conjeturó que si el sometimiento de un cuerpo a una tensión podía afectar la transmisión de la luz, la electrificación del cuerpo podría también tener el mismo resultado. Faraday trató de encontrar tal efecto repetidas veces en 1822, 1834 y 1844. En 1845 empezó a tratar con magnetismo en lugar de electricidad. Esto también fue un fracaso hasta que utilizó un vidrio denso que había desarrollado muchos años antes para otros propósitos. Encontró que el plano de la polarización de un rayo de luz, cuando pasa a través de este vidrio de borosilicato, es paralelo a las líneas de fuerza magnéticas. El físico francés M.E. Verdet (1824–1896) estudió posteriormente esta propiedad en una gran variedad de sustancias, estableciendo así que es una característica general de la naturaleza.

UNA EXPLICACIÓN DEL EFECTO FARADAY (E)

Faraday no tenía una teoría de lo que había encontrado. El siguiente año, 1846, G.B. Airy (1801–1892) mostró cómo representar el efecto Faraday dentro de la teoría ondulatoria de la luz. Las ecuaciones de la luz contenían segundas derivadas del desplazamiento con respecto al tiempo. Airy agregó algunos términos *ad hoc*: primeras o terceras derivadas. Éste es un procedimiento usual en la física. Para que las ecuaciones se acomoden a los fenómenos, se sacan de la gaveta unos cuantos términos extra para las ecuaciones, sin saber por qué unos términos sirven para nuestro propósito y otros no.

En 1856, Kelvin propuso un modelo físico: el campo magnético hace que las moléculas del vidrio roten alrededor de los ejes paralelos a las líneas de fuerza. Estas rotaciones moleculares se acoplan a las vibraciones inducidas por las ondas luminosas y hacen así que el plano de polarización rote.

Maxwell adaptó el modelo de Kelvin para ayudarse a formular su teoría electromagnética de la luz. Sin embargo, ésta no coincidía con los detalles que Verdet había dado de sus experimentos. Así, Maxwell utilizó argumentos de simetría para determinar los términos adicionales en el vector

de Lagrange del campo electromagnético, que se usa para describir los fenómenos. Finalmente, en 1892, H.A. Lorentz combinó las ecuaciones de Maxwell con su teoría del electrón. Esto condujo a la explicación que utilizamos ahora. El efecto se describe físicamente —al estilo de Kelvin— en términos de un movimiento local alrededor de las líneas de fuerza. Pero lo que sucede no es una misteriosa rotación molecular. Es un movimiento de electrones inducido electromagnéticamente.

SEIS NIVELES DE "TEORÍA"

Nuestra historia muestra por lo menos seis niveles diferentes de teoría. No son sólo niveles de mayor generalidad o poder deductivo, sino más bien diferentes tipos de especulación. El trabajo experimental básico es el de Faraday seguido por el de Verdet. Las ideas "teóricas", en orden de aparición, son las siguientes:

1. Faraday, motivado por su fe en la unidad de la ciencia, especula que debe haber alguna conexión entre el electromagnetismo y la luz.
2. Faraday hace una analogía con el descubrimiento de Brewster.
3. Airy proporciona una representación matemática *ad hoc*.
4. Kelvin elabora un modelo físico, utilizando una imagen mecánica de moléculas que rotan en el vidrio.
5. Maxwell utiliza argumentos de simetría para proporcionar un análisis formal dentro de la nueva teoría electromagnética.
6. Lorentz proporciona una explicación física dentro de la teoría del electrón.

No quiero sugerir que estos diferentes tipos de hipótesis ocurren en relación con toda investigación, ni que tienen que ocurrir en ese orden. Esta historia baconiana principia con una idea general y una analogía, se nutre del experimento y, posteriormente, se desarrolla en formulaciones teóricas cada vez más satisfactorias. Por supuesto, es común que la gran especulación (6) se dé primero. El ejemplo ilustra sólo el simple hecho, que sin embargo se olvida fácilmente, de que "teoría" abarca muchos productos. Un diccionario dice que, etimológicamente, la palabra "teoría" se deriva del griego y que, en una de sus connotaciones, quiere decir especulación. Detengámonos en este punto.

LA ESPECULACIÓN

En lugar de la simple dicotomía, C.W.F. Everitt y yo preferimos una división tripartita de actividades: la especulación, el cálculo y la experimentación.

La palabra "especulación" puede aplicarse a todo tipo de palabrerío inútil y se usa también en la bolsa de valores. Por especulación quiero referirme aquí a la representación intelectual de algo de interés, un juego de reestructuración de las ideas que nos lleve por lo menos a un entendimiento cualitativo de alguna característica general del mundo.

¿Son las especulaciones sólo cualitativas? Por supuesto que no. La física es una ciencia cuantitativa. La mayoría de las teorías tienen parámetros sin definir que se establecen mediante experimentos. La teoría subyacente es más cualitativa. Una vieja especulación es que la distancia recorrida por un cuerpo en caída libre hacia la tierra cambia con el cuadrado del tiempo que tarda en caer. Esto se representa como $1/2gt^2$. El valor numérico de la aceleración local de la gravedad g no es parte de la especulación inicial. Es sólo un lugar que llenamos con una medición no teórica. Actualmente, toda teoría cuantitativa dice al final: "Las ecuaciones son de tal y tal forma, con ciertas constantes de la naturaleza que deben fijarse empíricamente." Por mucho tiempo se ha tenido la ilusión leibniziana de explicar las constantes de la naturaleza en términos de algo más fundamental, pero esto es todavía un programa apasionante, no un campo con resultados sólidos. Así, a pesar de todos sus adornos de cantidades, la especulación puede ser esencialmente cualitativa.

Hay por lo menos tantos tipos de especulación como tipos de representación. Hay modelos físicos, ilustrados por la manera como Kelvin expresó el efecto Faraday. Hay estructuras matemáticas. Ambos enfoques han conducido a penetrantes observaciones. Según un cliché engañoso acerca de la ciencia del siglo XIX, los científicos alemanes utilizaban sobre todo enfoques matemáticos, mientras que los británicos, modelos físicos. Ambos tipos de trabajo colaboraron y condujeron muchas veces al mismo tipo de descubrimientos por caminos diversos. Sin embargo, visto más detalladamente, la mayoría de los modelos físicos, los de Maxwell por ejemplo, involucraban estructuras abstractas. Así, los elementos de su mecánica estadística no eran partículas duras, sino diferenciales matemáticas sin ningún significado físico evidente. A la inversa, mucha matemática aplicada en Alemania dependía de la descripción de simples modelos físicos. Estos aspectos de la mente humana por lo general no son separables, sino que continuarán permutándose y cambiando de maneras que no podemos predecir.

EL CÁLCULO

Kuhn recalca que la ciencia normal es una cuestión de lo que él llama articulación. Articulamos la teoría para que se adecue mejor al mundo, abierta a verificación experimental. La mayoría de las especulaciones inciales apenas se conectan con el mundo. Hay dos razones para que esto sea así. Una es que muy raras veces se pueden deducir de una especulación consecuencias que pueden ponerse a prueba, incluso en principio. La otra razón es que aun cuando una proposición puede en principio ponerse experimentalmente a prueba, muchas veces no puede ponerse a prueba realmente, simplemente porque nadie sabe cómo hacer el experimento requerido. Se requieren nuevas ideas experimentales y nuevos tipos de tecnología. En el ejemplo de Herschel y el calor radiante, se requirieron el termopar y las ideas de Macedonio Melloni para desarrollar las especulaciones iniciales de Herschel.

Por ello, la articulación de Kuhn debe denotar dos tipos de cosas, la articulacion de la teoría y la articulación del experimento. Voy a llamar arbitrariamente a la más teórica de estas actividades 'cálculo'. No quiero decir con ello mera computación, sino la modificación matemática de una especulación, de tal manera que se armonice más con el mundo.

Newton fue un gran especulador. Fue también un gran calculador; inventó el cálculo diferencial para entender la estructura matemática de su especulación acerca de los movimientos de los planetas. Newton fue también un experimentador brillante. Pocos científicos son grandes en todos los departamentos. P.S. Laplace (1749–1827) es un ejemplo de un calculador supremo. Su mecánica celeste de alrededor de 1800 fue, en su tiempo, la sublime decantación de la teoría planetaria de Newton. Newton había dejado muchas preguntas sin respuesta, y se necesitaba una matemática nueva para responder y, a veces, incluso para simplemente plantear las preguntas. Laplace las puso todas juntas de una manera asombrosa. Es también conocido como quizás el mayor contribuyente a la teoría de las probabilidades. Al principio de una famosa conferencia sobre las probabilidades formula la versión clásica del determinismo. Dice que una mente suprema, dadas las ecuaciones del universo y un conjunto de condiciones de frontera, sería capaz de calcular las posiciones y el movimiento de cada partícula para todo tiempo futuro. Uno tiene la sensación de que Laplace pensó ese Ser Superior como una versión ligeramente superior de Laplace, el Gran Calculador. Laplace aplicó las ideas newtonianas de atracción y repulsión a la mayoría de temas, incluyendo el calor y la velocidad del sonido. Como hice ver anteriormente, cuando Laplace coronaba el logro de Newton con cálculos poderosos, algunos experimentadores modestos, con células voltaicas,

brújulas y filtros de diferentes colores, ponían, para decirlo con precaución, en suspenso el programa de Newton.

EL ESQUEMA HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO

Mi triple distinción —especulación, cálculo y experimento— no está en conflicto con las teorías hipotético-deductivas tradicionales de la ciencia, como han sido enunciadas en *Physics, the Elements* de N.R. Campbell (1920, publicado nuevamente como *Foundations of Science*), y elaborado en *Scientific Explanation* (1953) de R.B. Braithwaite. Campbell se dio cuenta de que, incluso en una teoría terminada, los enunciados teóricos no se conectan directamente con nada observable. No hay una manera de deducir pruebas experimentales (*tests*) de las proposiciones centrales de la física clásica, por ejemplo. Por ello, Campbell distingue dos tipos de proposiciones. Hay hipótesis, esto es, "enunciados acerca de alguna colección de ideas que son característicos de la teoría". Además, hay un "diccionario" —Braithwaite lo llama diccionario campbelliano— de "enunciados de la relación entre esas ideas y algunas ideas de otro tipo".

Desapruebo la idea de hacer esta distinción en términos lingüísticos como el de enunciado, pero la idea tiene visos de verdad. Está más cerca de la realidad que la concepción de los dos niveles de la conjetura y la refutación. Campbell y Braithwaite indican la respuesta a un acertijo. Si la especulación busca una estructura cualitativa para algún cierto dominio, y la experimentación, como sostengo, persigue a veces una vida autónoma, ¿cuál es, entonces, la manera en que las dos encajan? La respuesta es el cálculo, que hace que la estructura tenga la rigidez que a veces se encuentra en los textos elementales. Los calculadores escriben el diccionario. Ellos son los que construyen el puente semántico entre la teoría y la observación. La especulación y el experimento no tienen por qué estar íntimamente relacionados, pero la actividad que llamo cálculo los aproxima lo suficiente como para apreciar un acoplamiento cuantitativo entre los dos.

No insisto en una clasificación exhaustiva en tres formas de actuar que no se traslapen. Sólo digo que la mejor versión de la concepción hipotético-deductiva, con tres divisiones en lugar de dos, es la imagen, no muy clara pero tampoco forzada del todo, de tres tipos de actividad en las ciencias maduras y axiomatizadas.

LOS MODELOS

La referencia al esquema hipotético-deductivo muestra que la división entre especulación, cálculo y experimento es conservadora. Los diferentes niveles del enunciado teórico ilustrado por el efecto magneto-óptico no dejan de ser familiares. El libro de Nancy Cartwright, *How the Laws of Physics Lie* (1983), se aparta más radicalmente de la tradición. Hasta ahora he escrito como si hacer que la teoría encaje con las posibles determinaciones de la naturaleza fuera sólo una cuestión de articulación y cálculo. Empezamos con especulaciones que gradualmente se moldean en una forma de la que pueden deducirse pruebas experimentales. Pero no es así. Hay una gran variedad de actividad intermedia que podemos denominar construcción de modelos.

La palabra "modelo" ha llegado a significar diferentes cosas en las ciencias. En los primeros años de la biología molecular, los modelos de las moléculas eran como los modelos de aviones a escala que entretienen a los niños. Eran pedazos de alambre, madera, plástico y goma. He visto desvanes llenos de modelos descartados de biología molecular, hechos con roldanas, magnetos, papel de aluminio y cosas por el estilo. Algunos físicos del siglo XIX hicieron modelos similares de la constitución de la materia que podían mostrarse sobre la palma de la mano, modelos construidos con poleas, resortes, cuerdas y cera. Sin embargo, un modelo en física, en general, es algo que se tiene en la cabeza y no en la mano. Aún así, hay una mezcla de lo pictórico y lo matemático. Désele un vistazo a un buen texto, digamos, el de N. Mott e I. Sneddon, *Wave Mechanics*. Encontraremos oraciones como éstas:

> El siguiente problema idealizado es instructivo, si bien no se refiere a ningún fenómeno físico (p. 49).
> Primero trataremos el núcleo como si tuviera una masa infinita (p. 54).
> Analizamos la molécula como una varilla rígida (p. 60).
> Calcularemos los niveles de la energía de un electrón en un átomo cuando se someten a un campo magnético, sin tomar en cuenta el espín (p. 87).
> Para las partículas libres, sin embargo, podemos tomar ya sea el potencial adelantado o el retardado, o podemos poner los resultados en una forma simétrica, sin afectar el resultado (p. 342).

La cita final le viene a Cartwright como anillo al dedo. Tres modelos, de los que cuando mucho sólo uno de ellos podría ser (lógicamente) verdadero del mundo físico, se usan indiferentemente y se intercambian en un problema particular.

EL PAPEL QUE DESEMPEÑAN LOS MODELOS

Supongamos que hay teorías, modelos y fenómenos. Una idea natural sería que los modelos sean doblemente modelos. Son modelos de los fenómenos y son modelos de la teoría. Esto es, las teorías son siempre demasiado complejas para que podamos discernir sus consecuencias, y por lo tanto las simplificamos en modelos matemáticos manejables. Al mismo tiempo, estos modelos son representaciones aproximadas de las representaciones del universo. En esta manera de ver las cosas, lo que Kuhn llama articulación se convierte, en parte, en una cuestión de construir modelos que la mente humana y las técnicas computacionales pueden operar. Esto nos lleva a la siguiente concepción.

1. Los fenómenos son reales, vimos que sucedían.
2. Las teorías son verdaderas, o por lo menos se dirigen a la verdad.
3. Los modelos son intermediarios, extraen algunos aspectos de los fenómenos reales y los conectan, por medio de estructuras matemáticas simplificadoras, a las teorías que gobiernan los fenómenos.

En esta concepción, los fenómenos son reales y las teorías se dirigen a la verdad, y por lo general están bastante cerca de la verdad. Sí, hay ejemplos de ese tipo de relación. Cartwright recalca que hay también ejemplos de otros tipos de relaciones. Describe algunos en detalle. Aquí menciono sólo dos de ellos sin resumir sus ejemplos.

¿REALISMO ACERCA DE QUÉ?

Estos temas están íntimamente relacionados con el realismo científico. Cartwright tiene en gran medida una posición antirrealista acerca de las teorías. Los modelos proporcionan una base para esta posición. Ella hace ver que no sólo los modelos no son deducibles de la teoría en la que están inmersos, sino que los físicos pueden usar, según les convenga, un número de modelos mutuamente inconsistentes dentro de la misma teoría. Estos modelos son la única representación formal accesible de las leyes fenomenológicas que consideramos verdaderas. No hay algo más allá de estas leyes fenomenológicas, nos dice ella. Nuestros modelos formales de estas leyes no pueden ser verdaderos, puesto que no son mutuamente consistentes. Tampoco hay ninguna razón para pensar que uno es mejor que el otro. Ninguno apoya razones para creer en la teoría dentro de la cual han sido propuestos. Es

más, los modelos tienden a ser robustos en los cambios de teoría; esto es, el modelo se mantiene, pero la teoría se descarta. Hay más verdad local en los modelos inconsistentes que en la más elaborada teoría.

Puede decirse que esto es un comentario acerca del estadio presente de la ciencia. El realista, se arguye, habla de un futuro, de un ideal. Podemos converger en teorías que por medio de la simplificación de modelos llegamos gradualmente a conectar con fenómenos. Ésta es la verdad a la que aspiramos. Respondo a esto de una manera inductiva. Cada año, desde 1840, la física ha utilizado más modelos (incompatibles) de los fenómenos en su quehacer diario, que los que se han utilizado en el año precedente. El fin ideal de la ciencia no es la unidad, sino la diversidad absoluta.

Este comentario puede ir al lado de una admiración intensa por proyectos que tratan de unificar la ciencia. El descubrimiento de Faraday del efecto magneto-óptico es una lección para todos. Stephen Hawking, el gran cosmólogo, escogió como título de su conferencia inaugural en la universidad de Cambridge, en 1980, "¿Se avizora el fin de la física teórica?" Él piensa que la respuesta es sí. Tendremos pronto una teoría unficada. Pero agrega: esto dejará la mayoría de la física intacta, puesto que todavía tendremos que hacer física aplicada y elaborar las aplicaciones caso por caso.

LA APROXIMACIÓN

Las relaciones de los modelos con la teoría y con los fenómenos son variadas y complejas. Las aproximaciones parecen más sencillas. Cartwright muestra que no es así. La idea usual de aproximación es que partimos de algo verdadero, y, para evitar complicaciones, escribimos una ecuación que es sólo aproximadamente verdadera. Pero si bien existen aproximaciones que *divergen* de la verdad, hay muchas más aproximaciones que van *hacia* la verdad. En muchas teorías de física matemática tenemos una representación estructural con algunas ecuaciones en un nivel puramente hipotético, ecuaciones que ya son simplificaciones de ecuaciones y no admiten solución. Para hacer que describan algún nivel de leyes fenomenológicas hay una gran cantidad de aproximaciones posibles. Después de un buen tiempo de ensayar, alguien descubre una aproximación que se adecua a los fenómenos. Nada en la teoría dice que ésta sea la aproximación que vayamos a usar. Nada en la teoría dice que esto es la verdad. Pero es la verdad, si es que algo lo es. Cartwright aduce que la teoría en sí misma no contiene verdad. Nos ayuda a pensar, pero es sólo una representación. Si hay alguna verdad, se encuentra en las aproximaciones, no en la teoría de fondo.

EL MUNDO

Cartwright concluye su ensayo introductorio haciendo referencia a la distinción de Pierre Duhem entre dos tipos de mente: la mente profunda pero estrecha de los franceses, y la mente amplia pero superficial de los ingleses. (Dejemos a un lado la nota chauvinista de que la física matemática profunda del tiempo de Duhem la hacían los alemanes y que los modelos físicos amplios mencionados por Duhem muchas veces eran hechos por escoceses. El Lagrange de la próxima cita se sentía orgulloso de ser italiano.)

> La mente francesa [escribe ella] ve la cosas de una manera elegante y unificada. Toma las tres leyes del movimiento de Newton y las convierte en la bella matemática abstracta de Lagrange. La mente inglesa, dice Duhem, es todo lo contrario. Se las ingenia con engranajes y poleas, y logra que las cuerdas no se enreden. Mantiene miles de detalles juntos, sin necesitar mucho de un orden abstracto o de organización. La diferencia entre el realista y yo es casi teológica. El realista piensa que el creador del universo trabaja como un matemático francés. Pero yo creo que Dios tiene la mente más bien impura de un inglés (p. 19).

Yo prefiero una fantasía argentina. Dios no escribió un libro de la naturaleza del tipo que se imaginaron los viejos europeos. Escribió una biblioteca como la de Borges; cada libro es tan corto como es posible, si bien cada libro es inconsistente con todos los otros libros. Ningún libro es redundante, pues cada libro, y no otro, hace posible la comprensión, la predicción y la posibilidad de influir en lo que sucede. Lejos de ser impura, ésta es una visión leibniziana del nuevo mundo. Leibniz decía que Dios escogió un mundo que maximizaba la variedad de fenómenos, en tanto que, simultáneamente, escogía las leyes más simples. Exactamente así: pero la mejor manera de maximizar los fenómenos y tener las leyes más simples es que las leyes sean inconsistentes unas con otras, cada una teniendo un contexto en la que se aplica, pero ninguna aplicable a todo.

13

LA CREACIÓN DE FENÓMENOS

Una de las funciones de los experimentos se desprecia tanto que ni siquiera le hemos dado un nombre. Yo la llamo la creación de fenómenos. Tradicionalmente se dice que los científicos explican los fenómenos que descubren en la naturaleza. Yo sostengo que comúnmente los científicos crean los fenómenos que posteriormente se convierten en las piezas centrales de la teoría.

La palabra "fenómeno" tiene una larga historia filosófica. En el Renacimiento algunos astrónomos trataron de "salvar los fenómenos", esto es, de producir un sistema de cálculo que encajaría con las regularidades conocidas. No todo el mundo admiraba esta actividad. Nadie podría superar el desprecio de Francis Bacon cuando en su artículo de 1625, *Superstición*, decía: "son como los astrónomos, que inventaron excentricidades y epiciclos, y otros mecanismos de las órbitas para salvar los fenómenos; aunque sabían que no existían tales cosas". No obstante, el gran historiador francés y filósofo de la ciencia, el eminente antirrealista Pierre Duhem, tomaría con admiración la misma expresión para titular uno de sus libros, *Salvar los fenómenos* (1908). Bas van Fraassen la vuelve a utilizar como título de un capítulo de su libro *La imagen científica*. Tales autores nos enseñan que una teoría nos proporciona un formalismo para darle cierto orden a los fenómenos, pero la teoría, en tanto que se extiende más allá de los fenómenos, no es ninguna indicación de una realidad subyacente. Dan por sentado que los fenómenos son descubrimientos del observador y del experimentador. ¿Cómo puedo decir, entonces, que una función principal del experimento es la creación de fenómenos? ¿Estoy proponiendo algún tipo de idealismo último en el que *hacemos* los fenómenos que incluso Duhem toma como "dados"? Por el contrario, la creación de los fenómenos favorece en gran medida un realismo científico fuerte.

EXCURSIÓN FILOLÓGICA

La palabra "fenómeno" tiene un linaje filosófico muy antiguo. En Grecia denotaba una cosa, un suceso o un proceso que puede ser visto, y deriva del verbo que significa "aparecer". Desde el principo se utilizó para expresar pensamientos filosóficos acerca de la apariencia y la realidad. La palabra es, pues, una mina filosófica. No tiene, sin embargo, un sentido definido en los escritos de los científicos. Un fenómeno es *notable*. Un fenómeno es *discernible*. Un fenómeno es, por lo general, un suceso o proceso de un cierto tipo que ocurre regularmente en circunstancias definidas. La palabra puede también denotar un suceso único al que le asignamos una importancia especial. Cuando sabemos la regularidad que exhibe un fenómeno, la expresamos en una generalización con forma de ley. Al mero *hecho* de tal regularidad se le llama a veces fenómeno.

A pesar de su uso, muchos de los antiguos sostuvieron que los fenómenos eran objetos cambiantes de los sentidos, en oposición a las esencias, la realidad permanente. Así, los fenómenos se contrastaban con la realidad. Un positivista contemporáneo, van Fraassen, sostiene que los fenómenos son la única realidad. La palabra "fenómeno" es neutral entre esas dos doctrinas.

Los escritores griegos contrastaban los fenómenos con los noúmenos, las cosas tal y como son en sí mismas. Kant transfirió esto a la filosofía moderna, y puso a los noúmenos fuera del alcance del conocimiento. La ciencia natural se volvió una ciencia de fenómenos. Luego vino el amanecer de los positivistas. Lo que es inaccesible al conocimiento puede ignorarse como si no existiera. Los "fenómenos" denotaban, para algunos filósofos empiristas, "datos de los sentidos" —sensaciones privadas, personales. Según J.S. Mill, el *Fenomenalismo* es la doctrina que dice que las cosas son sólo posibilidades permanentes de sensaciones, y que el mundo externo es una construcción a partir de datos de los sentidos presentes y posibles.

La palabra "fenomenología" fue introducida en 1764 por el físico J.H. Lambert como el nombre de la ciencia de los fenómenos, pero la palabra se ha dividido, a partir de entonces, en dos significados virtualmente distintos. Los filósofos sabrán que la *Fenomenología del espíritu* de Hegel (1807) es el estudio de cómo la mente humana se desarrolla a través de varios estadios de conocerse a sí misma como apariencia, para que al final se aprehendiera a sí misma como la realidad. Al principio de este siglo, la "fenomenología" se tomó como el nombre de la escuela alemana de filosofía de la que Husserl es el miembro más famoso. Yo estaba tan entrenado para entender fenomenalismo en este sentido, que cuando di conferencias

sobre los temas presentes en la serie de Notre Dame *Perspectivas* (lo que agradezco), me sorprendió mucho oír que el departamento de física de allí fuera a contratar a un fenomenólogo. La fenomenología es una parte importante de la física del estado sólido y de la física de partículas. Si usted quisiera comprobar lo que escribí acerca de muones y mesones en el capítulo 8, tendría que acudir a una obra clásica, como el libro de H. Bethe, *Mesons and Fields*. Allí encontraría un estudio de los muones seguido de una lección de fenomenología. Mi uso de la palabra "fenómeno" es como el de los físicos. Debe mantenerse separado del fenomenalismo de los filósofos, de la fenomenología y de los efímeros datos privados de los sentidos. Un fenómeno, para mí, es algo público, regular, posiblemente con forma de ley, pero tal vez excepcional.

Yo sigo el uso de esta palabra en la física y la astronomía. En el renacimiento, los observadores de las estrellas querían referirse a la vez a los movimientos regulares observados de las esferas, y a sucesos particulares, como la oclusión de Marte, que ellos esperaban que se podría derivar de alguna estructura de los cielos en forma de ley. Pero, por supuesto, los astrónomos eran también filósofos, más cerca de lo que estamos ahora del sentido griego de esa palabra. Los fenómenos eran "apariencias". El historiador de la ciencia Nicholas Jardine dice que Kepler consideraba que era un defecto de nuestro sistema solar que, cuando observamos, encontramos fenómenos, en lugar de las verdaderas posiciones y trayectorias de los cuerpos celestes.

RESOLVER LOS FENÓMENOS

A veces, cuando los viejos astrónomos hablaban de salvar los fenómenos, lo decían muy en serio; pero creo que, mucho antes de Bacon, el uso de esta expresión ya tenía algo de irónico. En el siglo XVII la aplicación científica de la palabra "fenómeno" se extendió a todo lo que llamaban "fenómenos de la naturaleza". Esto incluía regularidades semejantes a leyes y lo que nuestras compañías aseguradoras persisten en llamar catástrofes: cataclismos extraordinarios como los terremotos. Daniel Defoe llama fenómeno a la visibilidad de una estrella al mediodía. Un fenómeno podía muy bien ser una anomalía y no una regularidad conocida.

La expresión "salvar los fenómenos" se transformó en algo diferente. Podemos detectar esta transformación en el paso del griego al latín, en donde la palabra "salvar" era *salve*. En el siglo XVII fue cambiada no en "salvar", sino en "resolver"; David Hume, por ejemplo, escribió acerca de "la solución de los fenómenos". Esto quería decir la *explicación* del

fenómeno, ¡exactamente lo contrario de lo que Duhem quería decir con la frase de salvar los fenómenos! Cualquiera que tenga la esperanza de que la filología le pueda enseñar algo a la filosofía debería sentirse aludido.

¿Ha cambiado tanto el linaje de la palabra "fenómeno" que no haya esperanza de darle un sentido a la palabra? Por el contrario, el *pedigree* de mi manera de usarla es sorprendentemente correcto, además de ser su principal uso contemporáneo en la ciencia natural. Durante el siglo XVIII, la palabra inglesa "fenómeno" se usaba casi sólo a mi manera. Se puede pensar que Berkeley sería un contraejemplo, porque ahora se dice que es un fenomenalista que quería reducir el mundo externo a datos de los sentidos. Muy por el contrario. Incluso al final de su carrera, cuando escribió *Siris* (1744), encontramos la palabra como cuarenta veces. Este libro es un tratado maravilloso, aunque algo loco, acerca de muchas cosas, desde el estreñimiento, pasando por la ciencia, hasta las creencias en Dios. Emplea la frase, "los fenómenos de la naturaleza" en la manera usual de su tiempo para referirse a regularidades conocidas. Es cierto que Berkeley pensó que todos los fenómenos eran apariencias. Pero no por eso pensó que eran datos de los sentidos. En las partes filosóficas del libro, Berkeley intenta refutar a los filósofos naturales ingleses de su tiempo que trabajaban en la tradición de Boyle y de Newton. Proporciona una teoría completamente no materialista y antirrealista hasta cierto punto de la solución de los fenómenos, pero sus comentarios derivan de sus teorías de la materia y la causalidad, no de algún sentido no estándar de la palabra en la que "fenómeno" se refiere a datos de los sentidos.

No se puede confiar totalmente en los diccionarios. El diccionario *Oxford* de inglés, una mina de ejemplos, muchas veces se equivoca con palabras filosóficas, porque refleja cualquier estilo filosófico anacrónico que estaba de moda en la ciudad en la que el libro se escribió. Así, el diccionario *Oxford* dice que la palabra "fenómeno" llega a significar "los contenidos directos de la experiencia sensible" coincidiendo aparentemente con el libro de Thomas Reid *Active Powers of the Human Mind* (1788). Ésta es una lectura equivocada del pasaje citado. Reid habla de los fenómenos de la naturaleza y, como Berkeley, toma como ejemplo típico el efecto de un imán en una brújula. El efecto no es "algún contenido directo de la experiencia sensible", como lo expone el diccionario, sino una regularidad observable de la naturaleza. Reid presenta la típica idea newtoniana que llega a formar parte del positivismo de Comte: una solución de los fenómenos proporciona leyes descriptivas, pero no nos dice cuáles son las causas eficientes. Le debemos a la filosofía alemana la reaparición del sentido "filosófico" de la palabra "fenómeno", que está implícita en la escuela del fenomenalismo

inglés y en la escuela continental de la fenomenología. Paradójicamente, si los ingleses se hubieran contentado con maestros connacionales como Berkeley o Reid, nunca habrían caído en sus excesos empiristas.

LOS EFECTOS

Cuando los físicos encontraban un fenómeno realmente instructivo, lo llamaban un *efecto*. No sé cuándo empezó, pero cerca de 1880 la práctica se había extendido: el efecto Faraday o magneto-óptico, el efecto Compton, el efecto Zeeman, el efecto fotoeléctrico, el efecto anómalo de Zeeman, el efecto Josephson. Everitt hace notar que Maxwell habla del efecto Peltier en su *Theory of Heat* (1872); tal vez allí empezó esta costumbre.

Los "efectos" empezaron realmente a acumularse a mediados de la década de los ochenta del siglo pasado. Se puede utilizar esto como un síntoma de un nuevo estadio en la misma física. ¿Qué es un efecto y por qué se llega a llamar "efecto" a algo? Tomemos por ejemplo el efecto descubierto por E.H. Hall en 1879, cuando era un estudiante de investigación en el laboratorio de la nueva física de Rowland, en la universidad Johns Hopkins. Rowland le había pedido a Hall que investigara un comentario que había hecho James Clerk Maxwell de pasada. En su *Treatise on Electricity and Magnetism*, Maxwell había dicho que cuando un conductor que transmite una corriente está bajo la influencia de un campo magnético, el campo actúa en el conductor, pero no en la corriente. En un estudio reciente del efecto Hall, Jed Z. Buchwald utiliza este incidente para recapturar parte del espíritu de la teoría de Maxwell en ese entonces. Hall conjeturó que Maxwell decía que la resistencia del conductor podía ser afectada por el campo, o que se podía producir un potencial eléctrico. Hall falló en encontrar el primer efecto, pero localizó el segundo. Obtuvo una diferencia de potencial a lo largo de una pieza de lámina de oro en ángulos rectos respecto al campo magnético y a la corriente. Algunas explicaciones iniciales pronto fueron descartadas, porque diferentes conductores muestran el efecto de una diferencia de potencial en una dirección diferente de la del oro. Hall mismo describió el efecto como un fénomeno, como lo hacen muchos diccionarios de la física que, bajo el encabezado "Efecto Hall", comienzan: "el fenómeno que..." En una anotación del 10 de noviembre de 1879, Hall escribe, después de describir algún éxito experimental significativo, que:

> Parecía apenas seguro, incluso entonces, creer que un nuevo *fenómeno* había sido descubierto, pero ahora, después de que ha pasado casi una quincena y que

> el experimento ha sido repetido muchas veces y en muy variadas circunstancias [...] tal vez no es apresurado declarar que el imán produce en realidad un efecto en la corriente eléctrica, o por lo menos un efecto en el circuito que antes no se había observado o probado expresamente.[1]

Sólo un comentario surgido de la perspectiva teórica de Clerk Maxwell pudo haber hecho que Hall se pusiera a indagar. Lo que encontró no era lo que Clerk Maxwell pensó que podría encontrar. Tampoco estaba Hall poniendo a prueba una teoría. Esto era exploración, como si Maxwell hubiera dicho que podía haber una isla en esas aguas desconocidas.

Los fenómenos y los efectos son cosas del mismo tipo: regularidades valiosas discernibles. Las palabras "fenómeno" y "efecto" pueden servir muchas veces como sinónimos, pero apuntan en direcciones opuestas. Los fenómenos nos recuerdan, en ese semiconsciente depósito del lenguaje, sucesos que pueden ser registrados por el observador bien dotado que no interviene en el mundo, pero que mira las estrellas. Los efectos nos recuerdan a los grandes experimentadores que le han dado su nombre a los efectos: los hombres y mujeres, los Compton y Curie, que intervinieron en el curso de la naturaleza, para crear regularidades que, por lo menos al principio, pueden considerarse regulares (o anómalas) sólo en contraste con la teoría.

LA CREACIÓN

Hall no creó su efecto. Descubrió que el paso de una corriente a través de una lámina de oro, en un campo magnético, produce un potencial en ángulo recto respecto al campo y a la corriente. Él y otros investigadores estudiaron posteriormente las ramificaciones del efecto. ¿Qué pasa, por ejemplo, con los conductores diferentes del oro, o con los semiconductores? Todo este trabajo requiere ingenio. El aparato fue hecho por el hombre. Las invenciones fueron creadas. Pero tendemos a sentir que los fenómenos revelados en el laboratorio son parte del designio divino y que están allí a la espera de ser descubiertos.

Tal actitud es natural en una filosofía dominada por la teoría. Formulamos teorías acerca del mundo. Conjeturamos leyes de la naturaleza. Los fenómenos son regularidades, consecuencias de esas leyes. Puesto que nuestras teorías buscan lo que siempre ha sido verdadero del universo —Dios escribió las leyes en El Libro, antes del principio—, se sigue que los fenómenos siempre han estado allí, esperando a ser descubiertos.

[1] Citado por Jed Z. Buchwald, *Centaurus*, no. 23, 1979, p. 80.

Sugiero, en contraste, que el efecto Hall no existe fuera de cierto tipo de aparatos. Su equivalente moderno es la tecnología, confiable y producida en masa. El efecto, por lo menos en su estado puro, sólo se da en tales aparatos.

Esto suena paradójico. ¿No es cierto que, en todas partes, una corriente que pasa a través de un conductor, en ángulo recto respecto al campo magnético, produce un potencial? Sí y no. Si en todas partes hay una configuración de ese tipo, sin la intervención de otras causas, entonces el efecto Hall ocurre. Pero en ninguna parte fuera del laboratorio existe tal configuración pura. Hay sucesos en la naturaleza que son la resultante del efecto Hall y muchos otros efectos. Pero este modo de descripción —la interacción o resultante de muchas leyes diferentes— es el producto de una orientación teórica. Dice cómo analizamos sucesos complejos. No deberíamos tener la imagen de Dios poniendo el efecto Hall con su mano izquierda y otra ley con su mano derecha, y después determinando el resultado. En la naturaleza sólo hay complejidad, a la que somos sorprendentemente capaces de analizar. Esto lo hacemos al distinguir en la mente las diferentes leyes. También lo hacemos al presentar, en el laboratorio, fenómenos puros, aislados.

Tenemos la idea de muchas leyes de la naturaleza que se suman en una "resultante". La metáfora viene de la mecánica. Tenemos esta fuerza y esta otra, este vector y este vector, y podemos dibujar un diagrama con una regla y un compás para ver cuál es el resultado. John Stuart Mill hizo notar hace mucho que este hecho acerca de la mecánica no es generalizable. La mayor parte de la ciencia no es mecánica.

En el Renacimiento, la palabra "fenómeno" denotaba, sobre todo, las regularidades y anomalías solares y astronómicas. Mucho antes de que Dios hubiera creado el Sol y la Tierra, aquellos que no quieran aceptar mi fantasía borgesiana pueden imaginarse que Él tenía en mente alguna teoría del Campo Universal. Cuando hizo los cielos y la tierra, obedecieron los principios gravitacionales y otros principios de la teoría de campos. Las leyes, nos imaginamos, siempre han estado allí. Pero los *fenómenos* —o lo que los viejos astrónomos llamaban fenómenos— no existieron sino hasta la creación de nuestra parte del universo. De manera similar, sugiero que el efecto Hall no existió hasta que Hall, con mucho ingenio, descubrió cómo aislarlo y purificarlo, crearlo en el laboratorio. Para tomar un ejemplo más reciente, hace 20 años no había máseres ni láseres en el universo. Tal vez esto no sea correcto, tal vez había uno o dos (se ha sugerido que algunos fenómenos cosmológicos pueden ser fenómenos máser). Ahora el universo tiene decenas de miles de lásers, muchos de ellos a no más de cuatro o cinco kilómetros de donde escribo.

LA RAREZA DE LOS FENÓMENOS

No es un accidente que en el Renacimiento la palabra "fenómeno" se aplicara sobre todo a sucesos celestes. Tampoco es un azar que la ciencia antigua más respetada hoy sea la astronomía. Es una conjetura muy probable, pero no probada, que una gran variedad de terraplenes gigantescos, anillos de piedra, otras construcciones líticas como Stonehenge, los templos mayas, todos ellos dispersos por el mundo, fueron construidos a un gran costo para estudiar las estrellas o las mareas. ¿Por qué empezó la ciencia antigua en todos los continentes siempre con las estrellas y las mareas? Porque sólo los cielos muestran obviamente fenómenos, y permiten extraer muchos otros por medio de la observación. Sólo los planetas, y los cuerpos más distantes, tienen la combinación correcta de regularidades complejas con un fondo caótico.

¿No nos proporcionó Dios más fenómenos que las mareas y otros fenómenos lunares como la menstruación? Se puede protestar que el mundo está lleno de fenómenos manifiestos. Pueden mencionarse toda clase de pequeños dogmas. Pero éstas son cosas de filósofos urbanos que nunca han cosechado maíz ni ordeñado vacas en toda su vida. (Muchas de mis reflexiones acerca de la ausencia de fenómenos se derivan de mis conversaciones matutinas con Medea, nuestra cabra. Muchos años de estudio no han logrado revelar ninguna generalización acerca de Medea, con la excepción de algo como "a menudo está de mal humor".) Cuando digo que hay pocos fenómenos en el mundo, como réplica se menciona la abundante sabiduría de madres y cazadores y marineros y cocineros. Pero cuando hablamos con los románticos, que nos aconsejan que nos volvamos sabios y regresemos a la naturaleza, no nos hablan de poner atención a los fenómenos, sino de incorporarnos a su ritmo. Además, la mayoría de las cosas que llamamos naturales —la levadura para hacer que el pan suba, por ejemplo— tienen una gran historia de tecnología.

Fuera de los planetas, las estrellas y las mareas, hay muy pocos fenómenos en la naturaleza a la espera de ser observados. Cada especie de planta y animal tiene sus hábitos; supongo que cada uno de ellos es un fenómeno. Tal vez la historia natural está tan llena de fenómenos como el cielo nocturno. Cada vez que digo que hay sólo unos cuantos fenómenos allá afuera en la naturaleza por observarse —sesenta, digamos—, alguien sabiamente me recuerda que hay otros. Pero incluso aquellos que elaboran las listas más largas estarán de acuerdo en que la mayoría de los fenómenos de la física moderna se producen artificialmente. Los fenómenos acerca de las especies —por ejemplo, el hecho de que una manada de leones caza con

el macho rugiendo desde su guarida mientras que las hembras persiguen y matan a una gacela asustada— son anécdotas. Pero los fenómenos de la física —el efecto Faraday, el efecto Hall, el efecto Josephson— son las llaves que abren el universo. Los seres humanos hacen las llaves, y tal vez también las cerraduras en las que dan vuelta.

EL EFECTO JOSEPHSON

Desde hace tiempo se sabe que pasan muchas cosas extrañas a una temperatura cercana a los 4 grados sobre el cero absoluto. Las sustancias se vuelven superconductores, por lo que si se utiliza un interruptor de calor, se induce electricidad en un circuito cerrado y la corriente sigue dando vueltas sin parar. ¿Qué pasaría si dos superconductores se separaran por una hoja delgada de un aislante eléctrico? ¿Qué pasaría si se conecta una batería a los dos superconductores? Brian Josephson predijo en 1962 que una corriente circularía entre los dos superconductores separados por un aislante. Y si se conecta una batería, habrá grandes oscilaciones de corriente, pero no un flujo neto.

El efecto Josephson se deduce de una teoría de la superconducción propuesta hace cinco años por J. Bardeen, J.N. Cooper y J.R. Schrieffer (la teoría BCS). La superconductividad es un movimiento de pares de electrones, llamados pares de Cooper, que no encuentran oposición en un cuerpo frío. Para que se detenga la corriente, todos los pares de Cooper tienen que parar al mismo tiempo. Esto sucede tan frecuentemente como hierve el agua en un refrigerador. Cuando un cuerpo superfrío se calienta, los electrones se separan y caen en un átomo o cualquier otra cosa y se detienen. Josephson se dio cuenta de que los pares de Cooper podrían migrar a través de un aislante, para constituir la corriente Josephson. Muy posiblemente este extraordinario efecto no se hubiera buscado si la teoría BCS no la hubiera precedido. Tal conjetura puede ser historia (reciente) anacrónica, pues la idea básica está presente en la cuantización del flujo, de la que se hablaba mucho en ese tiempo. Sólo hasta entonces se empezó a hablar de la cuantización del flujo como una consecuencia "obvia" de la teoría BCS. Independientemente de los detalles, notamos algo como un espectro. Faraday encontró su efecto magneto-óptico porque esperaba que hubiera una interacción entre el electromagnetismo y la luz. Hall encontró su efecto porque la electrodinámica de Maxwell sugería que una o dos interacciones deberían existir. Josephson encontró su efecto por una deducción brillante de las premisas de la teoría. Hall no "confirmó" la teoría de Maxwell, si bien agregó un hecho más a la

lista. Josephson sí confirmó la nueva teoría de la superconducción. Nótese que esto no se debe a que la nueva teoría proporcione la mejor explicación de los fenómenos, sino a que nadie hubiera pensado en crear precisamente ese fenómeno sin la teoría.

He cambiado de lenguaje, en el último párrafo, de encontrar un efecto a crear un fenómeno; esto es deliberado. El efecto Josephson no existía en la naturaleza hasta que la gente creó los aparatos. El efecto no se dio antes que la teoría. Hablar de la creación de fenómenos es tal vez más poderoso cuando el fenómeno precede a un teoría articulada, pero esto no es necesario. Muchos fenómenos son creados después de la teoría.

LOS EXPERIMENTOS NO FUNCIONAN

No hay un dicho más familiar que el que los resultados experimentales deben ser repetibles. En mi concepción, esto es algo cercano a una tautología. El experimento es la creación de fenómenos; los fenómenos tienen que tener regularidades discernibles, por lo que un experimento que no es repetible simplemente ha fallado en crear un fenómeno.

Los estudiantes de la universidad y la preparatoria saben algo diferente. No hay otro comentario más común en las "evaluaciones de catedráticos" de los cursos que incluyen una parte de laboratorio: los experimentos no funcionan; los números se prefabricaron, la reacción no reacciona, el fago no crece. El laboratorio simplemente tiene que mejorarse.

Este problema no es peculiar de los años del preaprendizaje. Otra historia familiar es la siguiente: mi universidad tiene un instrumento *X* muy complejo y muy costoso, de los que hay muy pocos en el mundo; tal vez sólo el nuestro trabaja bien. Es el tipo de instrumento que tiene que solicitarse con un año de antelación, y después de que la solicitud ha sido revisada y que los dictámenes de una gran cantidad de comisiones han sido favorables, se podrá trabajar en *X* sólo dos días. La joven promesa *A* de nuestra institución está obteniendo resultados sorprendentes con *X*. *B*, una personalidad ya reconocida en el mismo campo, llega para estar dos días y se va frustrado. Incluso sugiere que deberíamos examinar con mucho cuidado el trabajo de *A*. ¿Realmente está obteniendo los resultados que pretende? ¿O sólo es un fraude? (Ésta es una historia verdadera basada en una solicitud de definitividad que yo revisé.)

Por supuesto que algunos cursos de laboratorio son simplemente espantosos. A veces el viejo *B* ha perdido su ingenio, o realmente el joven *A* está engañando. Pero, como una generalización paradójica, puede decirse

que la mayoría de los experimentos no funciona la mayor parte del tiempo. Ignorar este hecho es olvidarse de lo que hace la experimentación.

Experimentar es crear, producir, refinar y estabilizar fenómenos. Si hubiera muchos fenómenos en la naturaleza, si las zarzamoras del verano estuvieran allí listas sólo para recogerlas, sería extraordinario que los experimentos no funcionaran. Pero los fenómenos son difíciles de producir de una manera estable. Por esto hablé de crear y no simplemente de descubrir fenómenos. Es una tarea larga y difícil.

Más bien, hay una serie de tareas diferentes. Está la tarea de diseñar un experimento que podría funcionar. Y la de hacer que el experimento funcione. Pero tal vez lo más difícil es aprender a distinguir cuándo funciona el experimento. Ésta es una razón de por qué la observación, en el sentido usual de este término en la filosofía de la ciencia, desempeña un papel relativamente menor en la ciencia experimental. La anotación y la información de la lectura de instrumentos —la imagen del experimento de la filosofía de Oxford— no es nada. Otro tipo de observación es lo que cuenta: la habilidad de distinguir lo que es raro, incorrecto, instructivo o distorsionado en las travesuras del equipo experimental. El científico experimental no es el "observador" de la filosofía tradicional de la ciencia, sino la persona alerta y perspicaz. Sólo cuando se ha logrado que el equipo funcione correctamente se está en la posición de hacer y recoger información. Esto es fácil.

El preaprendizaje en el laboratorio de la escuela es, en su mayor parte, adquirir o fallar en adquirir la habilidad para saber cuándo el experimento funciona. La reflexión, el diseño, la puesta en práctica ya ha sido hecha. Pero algo falta. La habilidad para saber cuándo funciona el experimento incluye, por supuesto, tener una buena idea de cómo trabaja para saber cómo hacer que trabaje correctamente. Un curso de laboratorio en el que todos los experimentos funcionaran sin problema sería buena tecnología, pero no enseñaría nada acerca de la experimentación. Al final del camino, no es sorprendente que el joven *A* obtenga resultados que el visitante distinguido *B* no puede obtener. *A* ha tenido tiempo para conocer mejor el aparato; se ha hecho parte del aparato y sufrió sus fallas. Ésta es una parte integral de saber cómo crear fenómenos.

LA REPETICIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

El folklore dice que los experimentos son repetibles. Esto ha generado un seudoproblema filosófico. Es claro que una variedad de experimentos es más convincente que repeticiones del mismo suceso. Así, los filósofos han trata-

do ya sea de mostrar que las repeticiones son tan valiosas como el original, o de explicar, utilizando el cálculo de probabilidades, por qué las repeticiones son menos valiosas. Éste es un seudoproblema, porque, a grandes rasgos, nadie repite nunca un experimento. Por lo general, las repeticiones serias de un experimento son intentos de hacer mejor la misma cosa —producir una versión más estable, con menos ruido, del mismo fenómeno. Una repetición del experimento utiliza, por lo regular, diferentes tipos de aparatos. De vez en cuando sucede que alguien no cree en un resultado experimental y trata una y otra vez. Los quarks libres son un ejemplo, así como el trabajo en ondas gravitacionales. Hace unos veinte años se propuso sensacionalmente que a ciertos gusanos se les podía enseñar a hacer laberintos; cuando otros gusanos de la misma especie se comían a estos gusanos entrenados, los caníbales podían también hacer mejores laberintos. Este experimento fue repetido porque nadie creía en el resultado. Tenían razón para no creer.

En las escuelas y las universidades los experimentos se repiten una y otra vez. Pero estos experimentos nunca pretenden poner a prueba o elaborar la teoría. Se hacen para enseñarle a la gente cómo se llega a ser un científico experimental, y para dejar en el colador a aquellos para los que la ciencia experimental no es la carrera apropiada.

Puede parecer que hay un dominio en el que los experimentos pueden repetirse, esto es, cuando tratamos de hacer mediciones precisas de las constantes de la naturaleza, como la velocidad de la luz, por ejemplo. Parece que entonces tenemos que hacer muchas determinaciones para hacer posteriormente un promedio. ¿De qué otra manera podríamos determinar que la luz viaja a 299792.5 + 0.4 kilómetros por segundo? Pero aun en este dominio es preferible un mejor experimento que repeticiones de no muy buenos experimentos en equipo no tan bueno. K.D. Froome y L. Essen escribieron en su artículo *La velocidad de la luz y las ondas de radio* (p. 139):

> Repetiremos nuestra filosofía de las mediciones experimentales. El objetivo más importante debería ser incrementar la precisión de la medición de tal manera que los errores sistemáticos puedan medirse y eliminarse. La experiencia muestra que los procesos complicados de promedios invariablemente dejan errores sistemáticos en el resultado. No vemos la ventaja de hacer una gran cantidad de mediciones, tal y como fue hecho en los métodos ópticos clásicos y en algunas determinaciones recientes. También consideramos inapropiado tomar la desviación estándar o la media en lugar de una observación simple, puesto que los errores residuales sistemáticos no se reducen por medio de un mayor número de mediciones. Desde el punto de vista de la precisión, la determinación de Froome de 1958 es la única que excede a la de Essen (1950) y la de Hansen y Bol (1950).

14

LA MEDICIÓN

Parece que siempre hemos hecho mediciones. ¿No fueron los agrimensores babilonios los precursores de la geometría? Desde la más remota antigüedad hay observaciones planetarias, con la precisión de varios lugares sexagesimales. Los historiadores dijeron alguna vez que Galileo era más bien un platónico que hacía las cosas en la mente, y no un experimentador que las hiciera con sus manos; pero posteriormente se han documentado algunas de sus precisas observaciones de la aceleración de los cuerpos en un plano inclinado. Mencionamos anteriormente que Herschel le dedicó un año de su vida madura a la medición de reflexiones, refracciones, grados de transmisión de la luz y el calor radiante. La detección de Hall del potencial transversal eléctrico requirió mediciones muy precisas de la corriente. Las mediciones conectadas con las difracciones de Bragg en rayos X iniciaron el viaje hacia la biología molecular.

Puesto que la medición es obviamente una parte de la vida científica, adoptar un poco una actitud iconoclasta no haría daño. ¿Desempeñó la medición siempre su papel presente? ¿Entendemos correctamente la finalidad de las mediciones más precisas, delicadas y admiradas de la historia? ¿Es la medición una parte inherente de la mente científica, o es parte de una posición filosófica? ¿Las mediciones miden algo real en la naturaleza, o son sólo artefactos de la manera en la que teorizamos?

COSAS EXTRAÑAS

Mi preocupación más absurda empezó mientras veía una tarjeta postal en el museo de Oxford de historia de la ciencia. Es una copia de una pintura del siglo XVI llamada *Los medidores*. El director del museo debe pensar que éste es un buen complemento para su preciosa colección de instrumentos de latón contemporáneos de la pintura. Una mujer está midiendo su vestido. Un constructor está midiendo sus materiales de construcción. Un reloj de

arena mide el tiempo. Sextantes, astrolabios e instrumentos de dibujo se ven esparcidos por todas partes. Pero nadie mide nada. Los constructores no le prestan atención al nivel de los materiales en sus cajas. La arena cae en el reloj sin que nadie le preste atención. La mujer sostiene la cinta de medir contra el vestido, pero la cinta no está tensa. La medida de la cinta sería bastante más grande que el largo del vestido.

Tal vez esta pintura es una parodia. O tal vez la señora sólo está empezando a medir su vestido. Alguien está a punto de recoger el astrolabio. Los constructores están a punto de darse cuenta de que la caja de materiales está por acabarse. Pronto le prestarán atención al reloj. ¿O somos solamente nosotros, los que anacrónicamente debemos entender esta pintura en una de estas dos maneras: como una parodia o como un principio en suspenso? ¿Entendemos bien los antiguos fines de "la medición"?

Herschel midió las proporciones de la luz y del calor transmitidas por varias sustancias con la precisión de una parte en mil. Dudamos que haya podido llegar a tal exactitud con la luz, y sabemos que es imposible para el calor. ¿Qué es lo que este precavido inductivista newtoniano estaba haciendo, en 1800, con estas grandes exageraciones? Sus números no eran ciertamente el resultado de la aplicación de una teoría de errores. Cuando prestamos atención a la conexión entre los números que se dan y las observaciones hechas, los historiadores se quedan todavía más extrañados. Galileo pudo haber sido el primero en pensar en promedios, y tomó bastante tiempo para que la media aritmética —el promedio— fuera algo familiar para los experimentadores. Gauss enunció una teoría de los errores en 1807, y los astrónomos la usaron. Aunque toda medición moderna en la física requiere una indicación del error, los físicos, con la excepción de los astrónomos, no informaban de estimaciones de error hasta la última década del siglo pasado (o más tarde).

Nuestra concepción de los números y de la medición no es clara e indiscutida hasta finales del siglo XIX. Después de 1800 hay una avalancha de números, sobre todo en las ciencias sociales. En su trabajo fundamental, "Una función para las mediciones en las ciencias físicas", Kuhn sugiere que hubo una segunda revolución científica, durante la cual un amplio espectro de la ciencia física se matematiza por vez primera.[1] Él piensa que esto ocurrió entre 1800 y 1850. Sugiere que fue alrededor de 1840 cuando la medición tomó la función fundamental que ahora le atribuimos.

[1] "The Function of Mesurement in Modern Physical Science", en T.S. Kuhn, *The Essential Tension*, Chicago, 1979, pp. 178–224.

LAS CONSTANTES DE LA NATURALEZA

Tal vez una fecha importante es 1832, el año en el que Charles Babbage (1792–1871), el inventor del computador digital, publicó un pequeño trabajo donde recomendaba la publicación de tablas con las constantes numéricas conocidas en las ciencias y en las artes. Todas las constantes conocidas deberían imprimirse. Hay veinte categorías de ellas. Babbage principia con una lista familiar de cantidades astronómicas, gravedades específicas, pesos atómicos, y así sucesivamente. Hay números biológicos, geográficos y humanos también: las longitudes de los ríos, la cantidad de madera que un hombre puede aserrar en una hora, la cantidad de aire necesaria para sostener la vida humana por hora, el largo medio de los huesos de las diferentes especies, el número de estudiantes en las universidades y de los libros en las grandes bibliotecas.

Churchill Eisenhart, de la oficina de normas de Estados Unidos [National Bureau of Standards], me sugirió una vez que el trabajo de Babbage marca el inicio de la idea moderna de "las constantes de la naturaleza". No quería decir que las constantes hayan sido desconocidas. Babbage mismo lista muchas de las fuentes recientes para varios números. Una constante fundamental, la *G* de la gravitación de Newton, se conocía desde 1798, por lo menos. El hecho es que Babbage resume su trabajo enunciando oficialmente lo que estaba en la mente de muchos de sus contemporáneos: que el mundo podía definirse como un conjunto de números, que serían llamados constantes.

MEDICIONES PRECISAS

La práctica cotidiana de medir no requiere explicación. Sin una medición delicada, Hall no hubiera podido ver el efecto de la corriente y el campo en el potencial. Podría haber necesitado sólo un efecto cualitativo para empezar, pero sin una medición precisa, sus sucesores no podrían haber llegado a notar las diferencias entre conductores, ni a definir el "ángulo de Hall" como una caracterísitica de varias sustancias. Sin embargo, hay otra clase de mediciones mas célebres que es problemática; incluye muchas de las grandes mediciones de la historia.

Tenemos que reconstruir los textos para saber algo acerca de la maravillosa idea de Aristarco de encontrar el diámetro de la Tierra por medio de la observación de un pozo al mediodía y de una caminata en el desierto. Pero sabemos bastante acerca de cómo y por qué Cavendish "pesó la tierra"

en 1798. El trabajo de Fizeau de 1847 acerca de la velocidad de la luz es una obra maestra de precisión. Su sucesora fue la técnica de Michelson de rejillas de difracción, que incrementó potencialmente la precisión de las mediciones en varios órdenes de magnitud. Las mediciones de Millikan de la carga del electrón, hechas entre 1908 y 1913, son otro hito en la historia de la medición.

¿Por qué son importantes estos experimentos? Hay dos razones para admirarlos. En primer lugar, fueron extraordinariamente exactos. No vamos a corregir los resultados de estos pioneros de ninguna manera significativa. En segundo lugar, cada individuo produjo una nueva técnica. Cada uno de ellos tuvo la genialidad de concebir no sólo una idea experimental brillante, sino la capacidad de ponerla en práctica por medio de la invención de una serie de concepciones experimentales adicionales y de innovaciones tecnológicas.

Estas dos respuestas simples puede que no sean suficientemente buenas. ¿Cuál es la importancia de la precisión? ¿Cuál es la importancia de ese talento maravilloso para obtener números muy exactos que no son en sí muy importantes? Para empezar, no debemos generalizar demasiado. Como siempre, en el estudio del experimento no hay una respuesta que se aplique a todos los casos.

La primera consecuencia del experimento de Millikan es una confirmación cualitativa de que hay una unidad mínima de carga eléctrica. Millikan encontró que la carga de las gotitas de aceite era un número entero múltiplo de un número dado. Hizo la inferencia de que esta carga mínima era la carga del electrón. Millikan lo esperaba, pero fue un resultado sustancial en los días en que los electrones estaban en su infancia. El valor preciso de e en ese contexto no era muy importante. En las propias palabras de Millikan, pudo "dar una demostración directa y tangible de que todas las cargas eléctricas, independientemente de la manera como hayan sido producidas, son múltiplos exactos de una carga eléctrica elemental..." Millikan estaba también orgulloso, por supuesto, de que "había logrado hacer una determinación exacta del valor de la carga eléctrica elemental..." Tampoco quiero negar las palabras de presentación para el premio Nobel que recibió: "la evaluación exacta de la unidad de carga ha sido un servicio inestimable para la física, porque nos permite calcular con mayor grado de exactitud un gran número de las más importantes constantes físicas". Sin embargo, si uno es iconoclasta acerca de la medición precisa, la capacidad para generar otras mediciones no sería un justificación convincente.

Se podría haber dudado en 1908 de que había una carga negativa mínima definida de e. Pero cuando Cavendish "pesó la Tierra" en 1798, nadie

dudaba que la Tierra tenía cierto peso específico. El logro de Cavendish fue medir esta cantidad aparentemente imponderable. Esto no sólo satisfizo la curiosidad intrínseca de muchos, sino que también permitió encontrar, por medio de una cadena breve de inferencias, un valor para la constante gravitacional *G*. Newton había sabido la respuesta mucho antes (*Principia*, Libro III, prop. X). También sugirió experimentos, que fueron llevados a cabo por una expedición francesa en el Ecuador, alrededor de 1740, y que logró muy buenos resultados en hacer notar la deflección de la línea de una plomada cuando la atrae un objeto natural muy grande, como el Chimborazo, que tiene 6267 metros de altura. La importancia del trabajo de Cavendish es mayor porque logró poner en práctica una nueva idea experimental (no inventada por él) en la que se utilizaban pesos artificiales.

Hay cierta analogía entre el trabajo hecho por Cavendish con las mediciones de la velocidad y el que hizo Fizeau de la luz en 1847. En 1675 Roemer había estimado la velocidad de la luz a partir de las observaciones de los eclipses de las lunas de Júpiter. Su conocimiento de la distancia planetaria era pobre, por lo que su resultado estaba equivocado en 20% aproximadamente, pero (en analogía con Millikan) había mostrado que *hay* una velocidad finita de la luz que ahora llamamos *c*. A fines del siglo, Huygens sabía lo suficiente de astronomía como para obtener un valor satisfactorio de *c*. En 1847 la velocidad de la luz pudo determinarse por medio del método de Roemer, para cualquier propósito concebible.

¿Cuál es entonces la importancia del trabajo de Fizeau? Por supuesto, es importante que los diferentes métodos den los mismos resultados. Si Fizeau hubiera encontrado una respuesta radicalmente diferente de la de Roemer, hubiéramos tenido que retroceder a la astronomía pregalileana, con la luz viajando a una velocidad distinta en la Tierra y en el sistema solar. Más importante todavía, Cavendish y Fizeau trabajaron por completo en el laboratorio, con instrumentos artificiales. Las lunas de Júpiter y el Chimborazo no se pueden manipular. Esto tiene relación con lo que he llamado la creación de los fenómenos. En las condiciones del laboratorio, uno es capaz de producir un fenómeno numéricamente estable sobre el que se tiene un extraordinario grado de control.

Fizeau hizo otro experimento un poco después. ¿Cómo se afecta la velocidad de la luz al pasar en un tubo de agua en movimiento? ¿Sería simplemente la suma de las velociadades de la luz y la del agua? Su idea original estaba relacionada con la teoría del éter; algo del contexto lo daremos en el capítulo siguiente. Lo último que se le hubiera ocurrido a Fizeau (y que a nadie se le hubiera ocurrido en 1852) era contrastar la teoría newtoniana con la teoría de la relatividad. Einstein, en su popular libro de 1916, *La*

teoría de la relatividad, escribió acerca de las dos maneras de sumar el movimiento, y prosiguió: "Con respecto a este punto, es muy esclarecedor el importante experimento que llevó a cabo el brillante físico Fizeau hace más de medio siglo, y que ha sido repetido desde entonces por algunos de los más grandes físicos experimentales, por lo que no hay ninguna duda del resultado." Luego Einstein comenta que una teoría de este fenómeno fue formulada por H.A. Lorentz, y continúa: "Esta circunstancia no disminuye en lo más mínimo la importancia de este experimento como un experimento crucial de la relatividad, ya que la electrodinámica de Maxwell-Lorentz, en la que la teoría original se ha basado, no se opone en nada a la teoría de la relatividad." Un enunciado extraordinario: ¡el experimento que se llevó a cabo hace más de cincuenta años resulta ser crucial para una nueva teoría! El comentario es doblemente extraño, puesto que la teoría tradicional del éter no tenía ningún problema con el resultado de Fizeau, y como veremos en el capítulo siguiente, Michelson y Morley, cuando "repitieron" este experimento en 1886, pensaron que habían confirmado la existencia del éter clásico newtoniano. Lo que tenemos es un modo brillante de medir, algo que se pone al servicio de diferentes fines. Un fin es la teoría que uno favorece. Otro es el desarrollo de ingeniosas variantes de la técnica, de la que el trabajo de Michelson de 1881 es el ejemplo más famoso. En este caso encontramos al gran teórico, Einstein, feliz por un momento de ser a veces un parásito que se nutre de experimentos ya fallecidos hace tiempo.

LA TEORÍA POR OTROS MEDIOS

En *La imagen científica*, van Fraassen dice que "la verdadera importancia de la teoría, para el científico activo, es que constituye un factor en el diseño de experimentos" (p. 73). Prosigue con un examen del trabajo de Millikan y dice de ese ejemplo que "la experimentación es la continuación de la teoría por otros medios". Puede parecer que estos dos comentarios están en conflicto. Tal vez él tiene una idea del experimento como algo que se impulsa a sí mismo, que hace teoría por otros medios para poder hacer más experimentación. Ésta no es una imagen equivocada del ejemplo de Millikan, porque teniendo el valor de e, muchos otros experimentos fueron posibles.

El aforismo de "la teoría por otros medios" se basa en la siguiente idea. La teoría ha sugerido que hay electrones y que los electrones tienen una carga definida. Pero hay un espacio en blanco en la teoría; ninguna cantidad de reflexión teórica puede darnos el valor de e. Hacemos que avance la

teoría "por otros medios" efectuando una determinación experimental de *e*. Ésta es una metáfora atractiva, pero me resisto a darle mucha importancia. Cavendish encontró el valor de la constante gravitacional G, pero creo que no hizo que avanzara la teoría ni un ápice. Eso puede clasificarse como sigue. La teoría newtoniana incluye un enunciado acerca de la fuerza gravitacional F que existe entre dos masas m_1 y m_2 separadas por una distancia d. Esto es:

$$F = G\,\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

Pero el valor de la constante G simplemente no es parte de la teoría. Cavendish no logró que avanzara la teoría por encontrar esta constante. Resulta que G es una constante única en la naturaleza. Como veremos pronto, la mayoría de las constantes físicas están relacionadas con otras constantes por medio de leyes de la física. Éste es un hecho muy importante para la determinación de las constantes. G, sin embargo, no se relaciona con *nada más*.

Por supuesto, esperamos que finalmente se encuentre que G se relacione con algo. La fuerza gravitacional y las fuerzas electromagnéticas, así como las fuerzas débiles y las fuerzas fuertes, quizás lleguen algún día a integrarse en una teoría plausible. Está también la siguiente idea que fue inicialmente sugerida por Dirac hace cincuenta años. Supongamos que el universo tiene cerca de 10^{11} años; esperaríamos entonces que la fuerza gravitacional, comparada con la fuerza electromagnética, decreciera en una parte en 10^{-11} anualmente, una diferencia que es casi medible con la tecnología actual. Tal medición puede enseñarnos mucho acerca del mundo, pero no sería una continuación de la teoría newtoniana —ni de ninguna otra teoría— por otros medios.

Millikan fue más importante para la teoría del electrón que Cavendish para la teoría de la gravedad, pero esto no se debe a que haya llenado un espacio que estaba en blanco en la teoría. Más bien fue porque confirmó que había una unidad mínima de carga del electrón. Es evidente que yo comparto con van Fraassen su repugnancia por el modelo de la ciencia en el que los experimentadores se sientan a esperar que se les diga qué tienen que examinar o poner a prueba, o confirmar o refutar. De todas maneras, frecuentemente sí confirman teorías, incluso, como en el caso de Millikan, aunque ésta no sea la motivación principal. Me parece que la relación de Millikan con la teoría es que confirmó una gran variedad de especulaciones asociadas con el hecho de que hubiera una carga eléctrica negativa mínima, muy probablemente asociada con un ente conjetural, el electrón. También

encontró el valor de esa carga mínima, pero este número no tiene mucho que ver con la teoría. Su valor, como en el caso de la cita del premio Nobel mencionada anteriormente, reside en el hecho de que ayudó a fijar más precisamente otras constantes, pero estas constantes tampoco influyeron mucho en el curso de la teoría.

¿HAY CONSTANTES EXACTAS EN LA NATURALEZA?

El único gran filósofo familiarizado con mediciones ha sido C.S. Peirce, quien trabajó por bastante tiempo en la oficina de costas y geodesia de los Estados Unidos [U.S. Coast and Geodesic Survey] y en el observatorio Lowell de Boston. Diseñó algunos atractivos experimentos con péndulo para determinar el valor de *G*. A diferencia del filósofo de escritorio, no tenía sino desprecio para el postulado de que "algunas cantidades continuas tienen un valor exacto". En 1892 excribió en "La doctrina de la necesidad reexaminada" —un ensayo que aparece en casi todas las antologías de Peirce:

> A quien está detrás del escenario y sabe que las comparaciones más refinadas de masas, distancias y ángulos, son mucho más precisas que otras mediciones, pero que sin embargo no llegan a la exactitud de las cuentas de banco, y sabe que las determinacions usuales de las constantes físicas, como las que aparecen mensualmente en las revistas, son similares à las mediciones de alfombras y cortinas de un tapicero, la idea de una exactitud matemática que puede demostrarse en el laboratorio le tiene que parecer ridícula (*The Philosophy of Peirce*, J. Buchler (comp.), pp. 329).

Algo similar se encuentra en Pierre Duhem. Él ve las constantes de la naturaleza como un artefacto de nuestras matemáticas. Producimos teorías, que incluyen varios espacios en blanco, como *G*, por ejemplo. Pero no es un hecho objetivo acerca de nuestro universo que *G* tiene tal y tal valor. Es un hecho cualitativo que nuestro universo puede representarse mediante ciertos modelos matemáticos, y de allí surge otro hecho cualitativo: que existe un número exacto que le va mejor a nuestras matemáticas. Ésta es la base del agrio antirrealismo de Duhem acerca de las teorías y las constantes naturales.

AJUSTES DE MÍNIMOS CUADRADOS

¿Reflejan Duhem y Peirce una época en la que las constantes no eran exactas? No. Consideremos lo que ha sido en la última década el conjunto generalmente más aceptado de constantes fundamentales, recomendado para uso internacional por el comité de datos para la ciencia y la tecnología.[2] Los editores, Cohen y Taylor, tienen un gran número de constantes fundamentales basadas en el trabajo de los principales laboratorios del mundo. Los datos se clasifican en "Más precisos", "Datos menos precisos SEDC", y "Datos menos precisos EDC". EDC se refiere a cálculos que utilizan las teorías de la electrodinámica cuántica, mientras que SEDC se refiere a cálculos que no la utilizan. Finalmente tenemos otras "cantidades menos precisas". En esta última sección encontramos a nuestra amiga la constante gravitacional. El hecho es que "actualmente no existe una ecuación teórica verificada que relacione G con alguna otra constante. Por lo que no puede tener un efecto directo en los valores resultantes de nuestro ajuste" (p. 698).

Lo que hacemos con las otras constantes es determinar razones entre dos constantes. El efecto Josephson, descubierto en 1962 (véase el capítulo 13), hizo una gran diferencia en mediciones precisas porque permitió una manera sorprendentemente simple de determinar e/h, la relación entre la carga del electrón y la constante de Planck. En 1972 sabíamos, con precisión de 5 decimales, el valor preciso de la razón de la masa del electrón y la del muón; esta relación puede determinarse de otras maneras.

Finalmente tenemos un gran número de evaluaciones numéricas de constantes. Entonces procedemos al "test de los mínimos cuadrados". Postulamos que, a grandes rasgos, todas las teorías en un cierto grupo son verdaderas (por ejemplo, CED o SCED). Por lo que tenemos una gran cantidad de ecuaciones relacionadas con una gran cantidad de números. Por supuesto, los números no concuerdan con todas las ecuaciones. Luego encontramos un conjunto de números que satisfacen todas las ecuaciones y que minimizan los errores en todas nuestras estimaciones iniciales independientes de las diferentes constantes y razones entre constantes. Por supuesto, el problema es un poco más complejo, puesto que asociamos diferentes niveles de exactitud en nuestras mediciones iniciales. Este "mejor encaje", que es el producto de la incorporación de una estimación incorporada de errores particulares, nos proporciona entonces una evaluación de todas las constantes, excepto de algunas solitarias, como la "primera" constante de la ciencia, G.

[2] E.R Cohen y B.N. Taylor, en *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, no. 2, 1973, pp. 663–738.

La incorporación del efecto Josephson alteró uno de los conjuntos de estimaciones previas, que llevó a la "corrección" de todas las constantes en el conjunto. El proceso es de nunca acabar:

> Sin embargo, desde la publicación del ajuste de 1973, varios experimentos han sido concluidos y se ha mejorado el valor de algunas de las constantes [...] Pero tenemos que tomar en cuenta que, puesto que los valores resultantes de un ajuste de mínimos cuadrados están relacionados de una manera compleja, y que un cambio en el valor medido de una de las constantes por lo general lleva a cambios correspondientes en los valores ajustados de los otros, se debe ser precavido en llevar a cabo cálculos que utilicen valores que sean el producto del ajuste de 1973 junto con los resultados de los más recientes experimentos.[3]

Sin lugar a dudas, cuando el propio ajuste de mínimos cuadrados sea publicado (muy pronto), la red total de teoría y números será más satisfactoria por un tiempo. No obstante, el escéptico puede insistir en que todo lo que hacemos es encontrar el conjunto de números más conveniente para nuestras constantes. Tal vez todo nuestro procedimiento puede vaciarse en un molde duhemiano. En todo caso, es muy difícil ver este proceso de determinación de constantes como "continuación de la teoría por otros medios".

MEDIR CUALQUIER COSA

Kuhn dice que la pasión por medir es relativamente reciente. Cita a Kelvin: "digo con frecuencia que cuando uno puede medir algo de lo que está hablando, sabe algo al respecto; cuando no se puede medir [...] el conocimiento es pobre e insatisfactorio".[4] Como Kelvin repitió esto con frecuencia, hay muchas versiones mutiladas en circulación. Karl Pearson recuerda: "La aseveración de Lord Kelvin de que, hasta que un fenómeno no se ha medido y convertido en números, no tenemos sino una vaga idea de él."[5] Si uno piensa que el entusiasmo por la medición no está coloreado por la ideología, considere el pastiche siguiente, en un mal poema acerca del laboratorio Ryerson de Chicago, que se había convertido en la base de Michelson:

[3] De la biblia de bolsillo de la física de altas energías, *Particle Properties Data Booklet*, abril de 1982, p. 3. Puede obtenerse en los Laboratorios Lawrence en Berkeley y en el CERN.

[4] En "Electric Units of Measurement", *Popular Lectures and Addresses*, por William Thompson (Lord Kelvin), Londres, 1889, vol. I, p. 73.

[5] K. Pearson, *The History of Statistics in the 17th and 18th Centuries*, Londres, p. 472.

> Ésta es la ley de Ryerson, y éste es el precio de la paz, todos los hombres aprenderán a medir o nunca terminarán de discutir.

Pearson, Kelvin y el laboratorio Ryerson son todos de finales del siglo XIX. Principió con una avalancha de números. El mundo se empezó a concebir de una manera más cuantitativa que antes. Se concibe el mundo como si estuviera constituido por magnitudes numéricas. ¿Cuáles fueron los efectos de este fervor por la medición de números precisos en el curso de la ciencia natural? Para responder deberíamos dirigirnos al ensayo de Kuhn que mencionamos antes, "Una función para la medición en la ciencia física moderna", reproducido en *The Essential Tension.*

LA FUNCIÓN DE LA MEDICIÓN

¿Por qué medimos? Una respuesta es la dialéctica de la conjetura y la refutación de Popper. En esta concepción, los experimentos se hacen para poner a prueba la teoría. Los mejores experimentos ponen las teorías en mayor riesgo. De ahí que las mediciones precisas deban ser los mejores experimentos, porque estos números tienen mayor probabilidad de entrar en conflicto con las predicciones.

Kuhn es como el niño del cuento de Andersen que dijo que el emperador no llevaba ropa. A pesar de la fineza de la conjetura y la refutación, la historia imaginada por Popper casi nunca sucede. La gente no hace mediciones precisas para poner a prueba teorías. Cavendish no puso a prueba la teoría gravitacional en ningún momento: determinó *G*. Fizeau obtuvo un valor más exacto para la velocidad de la luz, y entonces utilizó la tecnología que había diseñado con ese propósito para investigar (no para poner a prueba) la posibilidad de que la luz tuviera diferentes velocidades que dependerían de la velocidad del medio en la que se mueve. Sólo 60 años después Einstein iba a considerar éste "un experimento crucial". En cuestiones más ordinarias, los números determinados en el laboratorio no se encuentran para poner a prueba la teoría. Los experimentos, como insiste Kuhn, se consideran satisfactorios por lo general cuando obtienen, con cierta precisión, precisamente aquellos números que se esperaba que obtuvieran.

La mayoría de las mediciones son, pues, lo que Kuhn llama ciencia normal. Las buenas mediciones requieren nueva tecnología, y por ello invitan a resolver acertijos experimentales. Las mediciones articulan detalles de lo conocido. ¿Se sigue entonces que el fervor por la medición que culmina con Kelvin no tenga efectos en la ciencia, excepto la intensificación de la

"actividad normal"? En absoluto. Kuhn resume la función de la medición como sigue: "Creo que en el siglo XIX la matematización de la ciencia física produjo criterios profesionales muy refinados para la solución de problemas y que simultáneamente aumentó la efectividad de la verificación profesional de procedimientos" (p. 220). En una nota a pie de página menciona "las diferencias cualitativas esotéricas" que condujeron a la selección de tres problemas: el efecto fotoeléctrico, la radiación del cuerpo negro y los calores específicos. La mecánica cuántica era la solución a esos problemas. Kuhn nos recuerda la velocidad con que la primera versión de la mecánica cuántica fue aceptada por la "profesión". Escribió un libro sin precedentes sobre el segundo problema, *La radiación del cuerpo negro y la discontinuidad del cuanto* (1894–1912).

Yo entiendo a Kuhn como sigue. Debemos distinguir la función de la medición de las razones que digamos tener para medir. Los experimentadores tienen diversos motivos para medir. Se les recompensa cuando inventan sistemas ingeniosos de la medición. Pero la práctica de la medición tiene una consecuencia que ni Kelvin, ni Pearson, ni el laboratorio Ryerson se esperaban. En ocasiones, diferentes series de números experimentales no concuerdan, al contrario de lo esperado. Ésta es una anomalía, algo que ha veces se llama un "efecto". Dependiendo del fervor por la exactitud, encontraremos más o menos estas "diferencias esotéricas". De hecho, no hay muchas, y estas pocas fascinantes anomalías se convierten en el foco de la resolución de acertijos profesionales. Cuando alguien propone una nueva teoría, su tarea es explicar las "diferencias esotéricas". Éstas son, entonces, rápidos tests que una nueva teoría debe pasar. Estos son los procedimientos efectivos de verificación de los que habla Kuhn, y son una parte de la estructura de su concepción de las revoluciones científicas.

No nos sobrepasemos con esta historia funcional. No es toda la historia. Por supuesto que muchos experimentos se diseñan deliberadamente para poner teorías a prueba. La instrumentación se desarrolla específicamente para hacer el test más convincente. Tampoco la filosofía deja de tener su efecto. En los tiempos de Kelvin, el antiguo positivismo de la búsqueda de hechos estaba por todas partes, y cuando uno describía un experimento, decía que trataba de encontrar hechos numéricos. Hoy la filosofía de Popper está por todos lados, y cuando uno describe un experimento, dice que está tratando de poner teorías a prueba (de otra manera no obtendría fondos). Agreguemos también que la teoría de la medición de Kuhn no es tan diferente de la de Popper. La medición precisa genera fenómenos que no encajan en las teorías, por lo que se proponen nuevas teorías. Pero mientras Popper considera esto el propósito explícito del experimentador, Kuhn lo considera

un producto secundario. Por cierto, su manera de entender esta "función" es muy similar a lo que en las ciencias sociales se llama funcionalismo.

EL FUNCIONALISMO

Frecuentemente se dice que la filosofía de Kuhn se transforma en sociología. Si esto significa sociología empírica, es incorrecto. Kuhn no ha contribuido con teoremas como éste: "Si un laboratorio tiene más que N científicos, la proporción de científicos jóvenes que entran al laboratorio y que se quedan a continuar sus carreras es k; la proporción que se va a otro trabajo es $1 - k$." Si bien Kuhn no es sociólogo empírico, es, hasta cierto punto, un sociólogo especulativo de la vieja guardia. Algunos de ellos, llamados funcionalistas, descubrieron una práctica en una sociedad o en una subcultura. No se preguntaban como llegó hasta allí, sino por qué se mantiene. Conjeturaron que, dados otros aspectos del grupo, esta práctica tiene virtudes que contribuyen a la preservación de la sociedad. Ésta es la función de la práctica. Puede ser desconocida para los miembros de la sociedad; pero deberíamos tratar de entender la práctica en términos de su función.

Similarmente, Kuhn hace ver que la medición juega un papel cada vez mayor en las ciencias físicas. Sugiere que sólo alrededor de 1840 podemos encontrar una matematización a fondo. No se pregunta cómo sucedió esto. Se pregunta por qué se mantuvo. Los cínicos pueden sugerir que la medición proporciona al científico algo que hacer. Kuhn dice que las anomalías aparecen invariablemente cuando se hacen mediciones precisas y se convierten en el foco de la actividad subsecuente, aun cuando estén en un estado de lo que él llama crisis. También determinan lo que entendemos por un buen reemplazo para una teoría previa. Así, la medición tiene un nicho importante en la concepción de Kuhn de la ciencia normal-crisis- revolución-nueva ciencia normal.

UNA TEORÍA OFICIAL

Kuhn es inquisitivo e iconoclasta. Las mediciones precisas de constantes no se adecuan a su idea, pues la determinación de constantes parece haberse transformado en un mundo autónomo. Gracias al efecto Josephson, "La oficina nacional de normas de Estados Unidos adoptó, el primero de julio de 1972, el valor exacto $2e/h = 483593.420$ GHz/V para su uso en el establecimiento del voltio legal, o voltio "establecido" de Estados Uni-

dos. Hay por lo menos otros 11 voltios "establecidos" que dependen de los 11 grandes laboratorios nacionales de Japón, Canadá, etcétera. No es una locura mantener 12 "voltios" regionales diferentes, porque parte del problema es que, cuando un experimentador desea obtener un voltio, tiene que ir al laboratorio más cercano, o utilizar "normas de voltaje portátiles reguladas mediante el control de la temperatura". Aquí está una filosofía de la medición: viene al final del trabajo de Cohen y Taylor que mencionamos anteriormente, *The 1973 Least-Square Adjustment*: "Creemos que hay mucho trabajo útil en el campo de las constantes fundamentales y que el entusiasmo por el siguiente decimal debería proseguirse apasionadamente, no como un fin en sí mismo, sino por la nueva física y la comprensión más profunda de la naturaleza que actualmente está allí enterrada" (p. 726).

15

TEMAS BACONIANOS

Francis Bacon (1560–1626) fue el primer filósofo de la ciencia experimental.[1] Aunque no contribuyó al conocimiento científico, muchas de sus ideas metodológicas están todavía con nosotros. "Experimento crucial" es un ejemplo.

Era un cortesano que nació en el largo reinado de Isabel I. ("Cuando la reina le preguntó su edad, respondió con mucho tacto, siendo entonces un niño, que *"tenía dos años menos que el feliz reino de su Majestad."*)[2] Fue el fiscal más importante de su época, perseguía "lo mismo a los criminales que al capital". ("Nunca fue de una naturaleza grosera y dominante sobre ellos, siempre fue amable [. . .] como alguien que mira el *ejemplo* con ojo severo, pero a la *persona* con mirada piadosa y compasiva."). Aceptó sobornos y fue descubierto. (Yo fui el juez más justo que hubo en Inglaterra en esos cincuenta años; pero ésa fue la censura más justa que se hizo en el Parlamento en 200 años.")

Se dio cuenta de que la observación de la naturaleza enseña menos que el experimento. ("Los secretos de la naturaleza se descubren más fácilmente bajo las molestias del arte que cuando se les deja que vayan por su propio camino.") Tenía algo de pragmatista. ("La verdad y la utilidad son aquí la misma cosa, y los trabajos mismos son de más valor como verdades que como contribuciones al bienestar de la vida.") Nos dijo que experimentáramos para "desarrugar a la naturaleza". Debemos "torcerle la cola al león". Cita al sabio Salomón: "La gloria de Dios reside en esconder una cosa; la gloria del rey consiste en buscarla." Según él, el significado correcto de este proverbio es que cada investigador es un rey.

[1] Todas las citas de Bacon en este capítulo provienen de J. Robertson (comp.), *The Philosophical Works of Francis Bacon, reprinted from the texts and translations with the notes and prefaces of R.L. Ellis and F. Speeding*, Londres y Nueva York, 1905. Esta selección fue tomada de *Works*.

[2] Estas notas biográficas proceden del libro de William Rawley, *La vida de Bacon*, incluidas en la selección de Bacon mencionada en la nota anterior.

LA HORMIGA Y LA ABEJA

Bacon despreciaba los intentos escolásticos de derivar conocimiento de primeros principios. En su lugar, debemos crear conceptos y descubrir verdades en un nivel menor de generalidad. La ciencia debería construirse de abajo hacia arriba; Bacon no previó el valor de la especulación, las hipótesis y la articulación matemática, algo que hemos aprendido a usar con mucha antelación respecto a cualquier sistema de contrastación empírica. Cuando desprecia a los autores que van más allá de los hechos, es el escolasticismo, no la nueva ciencia, lo que él tiene en mente. Por ello, lo han maltratado muchos filósofos modernos dominados por la teoría, que lo llaman un inductivista; aunque fue Bacon quien dijo que "concluir sobre la base de la mera enumeración de particulares (como hacen los lógicos) sin una instancia contradictoria, es una conclusión viciada". La inducción por simple enumeración era para él pueril.

Bacon, siendo un filósofo del experimento, no encaja bien en las simples dicotomías del inductivismo y el deductivismo. Buscó la exploración de la naturaleza, para bien o para mal. "Nadie debería descorazonarse o confundirse si los experimentos que trata de hacer no responden a sus expectativas." "Pues si bien un experimento exitoso es más agradable, muchas veces uno que no tiene éxito puede ser más instructivo." Bacon ya sabía valorar el aprendizaje por medio de refutaciones. Ve que la nueva ciencia será una nueva alianza de la teoría y el experimento. A la manera de su tiempo derivó una moraleja de la vida de los insectos:

> Los hombres del experimento son como las hormigas; recolectan y usan; los que razonan se parecen a las arañas, que hacen telas de su propia sustancia. Pero la abeja toma un camino intermedio; junta material de las flores del jardín y del campo, pero las transforma y las digiere con sus propios medios. No muy diferente es la verdadera tarea de la filosofía, pues no descansa única o principalmente en los poderes de la mente, ni toma lo que obtiene de la historia natural y los experimentos mecánicos y los pone como un todo en la memoria, tal y como los encuentra; sino que las coloca en el entendimiento modificadas y digeridas.

"Por lo tanto", continúa, "podemos esperar mucho de una unión más cercana de estas dos facultades, la experimental y la racional (como no se ha hecho hasta ahora)."

¿QUÉ ES TAN IMPORTANTE EN LA CIENCIA?

La alianza entre el experimento y las facultades racionales habían apenas empezado cuando Bacon escribió proféticamente sobre ella. En nuestro tiempo, Paul Feyerabend se pregunta, "¿Qué es la ciencia?", y luego, "¿Qué es tan importante en la ciencia?" No encuentro apremiante la segunda pregunta, pero puesto que podemos ver a veces algo muy elevado en la ciencia natural, podemos emplear a Bacon para entender esto. La ciencia es una unión entre dos facultades, la racional y la experimental. En el capítulo 12 dividí la facultad racional de Bacon en especulación y cálculo, y sostuve que éstas son dos habilidades diferentes. Lo que es tan importante en la ciencia es que es una colaboración entre diferentes tipos de gente: aquellos que especulan, los calculistas y los experimentadores.

Bacon gustaba de criticar a los dogmáticos y a los empiristas. Los dogmáticos eran hombres de teoría pura. Muchos dogmáticos de su tiempo habrán tenido el molde de una mente especulativa; algunos empiristas han de haber sido experimentadores de verdadero talento. Cada lado por su parte produjo poco conocimiento. ¿Qué es lo característico del método científico? Poner estas dos habilidades en contacto por medio del uso de una tercera habilidad humana, la que he llamado articulación y cálculo. Incluso la matemática pura se beneficia de esta colaboración. La matemática fue estéril después de la época griega, hasta que nuevamente se volvió "aplicada". Incluso ahora, a pesar del poder de tanta matemática pura, muchos de los grandes contribuyentes a las profundas ideas "puras" —Lagrange, Hilbert, o cualquier otro— fueron precisamente los que llegaron más cerca de los problemas fundamentales de las ciencias físicas de su tiempo.

El hecho sorprendente acerca de la ciencia física reciente es que crea un nuevo artefacto humano, un artefacto colectivo, dándole cabida a tres intereses humanos fundamentales: la especulación, el cálculo y el experimento. Mediante la colaboración entre ellas, las tres habilidades se enriquecen mutuamente de una manera que sería imposible de otra forma.

Esto nos permite hacer un diagnóstico de las dudas que algunos de nosotros compartimos acerca de las ciencias sociales. Estos campos están todavía en un mundo de dogmáticos y empiristas. No hay un fin de la "experimentación", pero hasta ahora no ha generado fenómenos estables. Hay mucha especulación. Incluso hay bastante psicología matemática o economía matemática, ciencias puras que no tienen nada que ver ni con la especulación ni con el experimento. No pretendo en absoluto ofrecer una evaluación de este estado de cosas. Tal vez toda esa gente está creando un nuevo tipo de actividad humana. Pero muchos de nosotros experimentamos cierta nostalgia,

un sentimiento de tristeza, cuando estudiamos las ciencias sociales. Quizá es porque le hace falta lo que es tan importante acerca de la ciencia física moderna. Los científicos sociales no carecen de experimentos, ni carecen de cálculos. La especulación no les falta. Lo que no tienen es la colaboración entre las tres. Tampoco colaborarán, sospecho, hasta que no encuentren entes teóricos reales acerca de los cuales puedan especular, no sólo postular "constructos" y "conceptos", sino entes que podamos usar, entes que sean parte de la creación deliberada de nuevos fenómenos estables.

CASOS PRIVILEGIADOS

El inconcluso *Novum Organum* de 1620 de Bacon tiene una curiosa clasificación de lo que él llama casos privilegiados. Estos casos incluyen observaciones sorprendentes y valiosas. Incluyen diferentes tipos de medición, y el uso de microscopios y telescopios para extender nuestra visión. Incluyen la manera en la que revelamos algo intrínsecamente invisible, por medio de su interacción con lo que podemos observar. Como hice ver en el capítulo 10, Bacon no habla de la observación, ni piensa que es importante distinguir casos que son simples maneras de ver de aquellos que son inferencias de delicados experimentos. Por cierto, su uso de casos privilegiados se parece más a la manera en que la física moderna habla de la observación, que al concepto de observación que se encuentra en la filosofía positivista.

EXPERIMENTOS CRUCIALES

El decimocuarto tipo de casos son las *Instantiae crucis*, término traducido después como experimento crucial. Una traducción más literal y tal vez más útil sería "casos de encrucijada". Los traductores antiguos lo expresaban como "casos de las señales de caminos", pues Bacon usó el término que se utilizaba para designar los rótulos que se ponían en donde se separaban los caminos "para indicar las diferentes direcciones".

Posteriormente, la filosofía de la ciencia hizo de los experimentos cruciales algo decisivo. La idea es que dos teorías están en competencia, y un único experimento favorece concluyentemente una teoría y desdice la otra. Aun cuando no se prueba que la teoría victoriosa sea verdadera, la teoría rival se deja de considerar como alternativa viable. Esto no es lo que Bacon dice acerca de los casos-señales. Bacon está más en el lado correcto que la idea más reciente. Dice que los casos-señales "proporcionan mucha claridad

y tienen una gran autoridad, y *a veces* llevan el curso de la interpretación a una conclusión". Recalco que "a veces". Recientemente ha estado de moda decir que los experimentos cruciales sólo lo son en perspectiva, que no deciden nada cuando se ejecutan. Esto es lo que dice Imre Lakatos. Así, surge una falsa confrontación. Si los filósofos se hubieran matenido cerca del sentido común de Bacon, se hubieran evitado los siguientes pares de contrarios: (a) Los experimentos cruciales son decisivos y llevan inmediatamente al rechazo de una teoría; (b) "No ha habido experimentos cruciales en la ciencia" (Lakatos II, p. 211). Seguramente Bacon está en desacuerdo con Lakatos, y con razón, pero también disiente de (a).

LOS CASOS DE BACON

Los casos de Bacon son algo muy mezclado. Entre los casos-señales (o experimentos cruciales) incluye algunos datos no experimentales. Considera, por ejemplo, "una separación del camino" con relación a las mareas. ¿Deberíamos tener el modelo del agua agitándose en un recipiente, ahora subiendo en un lado, ahora en el otro? ¿O es un levantamiento del agua a partir del fondo, como cuando el agua hierve, que sube y baja? Les preguntamos a los panameños si el océano sube y fluye en los lados opuestos del istmo al mismo tiempo. Como Bacon se da cuenta perfectamente, el resultado no es una prueba decisiva, pues es posible que haya hipótesis auxiliares que salven una teoría, una teoría basada en la rotación de la Tierra, por ejemplo. Luego pasa a otras consideraciones acerca de la curvatura de los océanos.

Bacon hace notar que la mayoría de los casos cruciales no se encuentra en la naturaleza: "en la mayor parte son nuevos, y sólo se encuentran, y se aplican, por medio de una diligencia seria y activa". Su ejemplo más interesante es el problema del peso. "Aquí el camino se dividirá en dos, por ello: debe ser el caso que cuerpos masivos y pesados, o bien, tienden por su propia naturaleza al centro de la Tierra, debido a su propia configuración; o bien son atraídos por la masa y el cuerpo de la Tierra misma." Éste es su experimento: tomemos un reloj de péndulo, movido por pesos de plomo, y un reloj de cuerda, sincronizados al nivel del suelo. Llevemos los dos relojes a la punta de una torre o a otro lugar elevado, y después llevémoslos al fondo de una mina. Si los relojes no mantienen el mismo tiempo, debe ser por el efecto de los pesos y la distancia de la masa de la Tierra. Es una idea preciosa, aunque imposible de llevar a la práctica en los tiempos de Bacon. De haberla llevado a cabo, no habría encontrado ningún efecto, y con ello habría favorecido la falsa teoría aristotélica del movimiento propio. Sin

embargo, el hecho de que se nos hubiera enviado por el camino equivocado no habría sido tan terrible para Bacon. Nunca pretendió que un experimento crucial debe terminar la tarea de interpretación. Siempre es posible que uno se vaya por la senda equivocada y que luego se tenga que regresar porque las señales eran engañosas.

LAS HIPÓTESIS AUXILIARES

De haberse llevado a cabo con todo cuidado el experimento de Bacon de 1620, deberíamos suponer que no se habría detectado una diferencia entre el reloj de péndulo y el reloj de cuerda. Para empezar, los instrumentos no mantenían un tiempo muy exacto, y la mina más profunda y la torre más alta en la misma área no están lo suficientemente separadas como para que los instrumentos sean capaces de discriminar. Un defensor de la teoría gravitacional podría muy bien rechazar el resultado experimental, diciendo que se requieren aparatos más precisos.

Ésta es la manera más simple de salvar una hipótesis del resultado negativo de un experimento crucial. Puede parecer que siempre es posible salvar una hipótesis de esta manera. Hay una tesis más general del filósofo e historiador Pierre Duhem. Cuando se pone a prueba una hipótesis, siempre se puede salvar la hipótesis preferida revisando algunas de las hipótesis auxiliares relacionadas con el método de prueba. Hemos visto en el capítulo 8 que Imre Lakatos pensó que ésta era una manera muy útil de hundir la idea de que las hipótesis pueden ser simple y directamente falsificadas por el experimento. Según él, "precisamente las teorías científicas más admiradas simplemente no prohíben ningún estado de cosas" (I, p. 16). En apoyo a esto no da otro hecho más que "un caso imaginario del comportamiento extraño de un planeta". Ésta es la tesis de Duhem de que siempre se puede remendar una teoría agregando hipótesis auxiliares; cuando una de las hipótesis pasa la prueba, éste es un triunfo de la teoría; si no, seguimos buscando otras hipótesis auxiliares. Así, se pretende que la teoría no prohíbe nada porque llegamos a una inconsistencia con la observación sólo a través de hipótesis intermedias. Esto está también mal formulado y es ejemplo de otro tipo de descuido. Del hecho histórico de que las hipótesis a veces han sido salvadas, se infiere que las hipótesis pueden siempre ser salvadas. Esto se arguye no tanto por medio de un caso imaginario, sino por la imaginación perversa de un suceso histórico.

En 1814 y 1815 William Prout formuló dos tesis sorprendentes. En esa época, siguiendo los trabajos de Dalton y otros, fue posible hacer la de-

terminación precisa de los pesos atómicos. Prout propuso que todos los pesos atómicos eran múltiplos integrables del hidrógeno, por lo que si ponemos H = 1, todas las otras sustancias tendrán un número entero, como C = 12 u O = 16. Las discrepancias entre la medición y el número entero se deberían a un error experimental. Segundo, todos los átomos estarían hechos de átomos de hidrógeno. Así, los átomos de hidrógeno serían los ladrillos con los que se construye el universo.

Prout era sobre todo un médico con gusto por la química. Fue uno de varios investigadores que más o menos al mismo tiempo conjeturaron la ley de Avogadro. Descubrió que hay HCl en el estómago y que desempeña un papel importante en la digestión. Hizo un trabajo útil en química biológica. No tenía una base teórica para su atrevida conjetura acerca del hidrógeno. Es más, *prima facie* era falsa, pues el cloro tenía un peso atómico de 35.5, pero aun así, propuso que en realidad su peso era 36. Posteriormente "corrigió" este enunciado en una nota. De hecho, Prout simplemente modificó los números para que se vieran bien. Lakatos está en lo correcto cuando dice que muchos químicos hábiles se aferraron a la hipótesis de Prout aun cuando los números se veían mal. En el continente europeo, en donde se practicaba un análisis químico mucho más estricto, muy poca gente tomó en serio a Prout.

Ahora le pondremos atención a las maneras auxiliares de salvar una hipótesis. Lakatos dice que nunca se puede refutar a Prout, porque se puede seguir insistiendo siempre en que el cloro no ha sido suficientemente purificado. La sustancia real tiene un peso de 36, aunque en las muestras encontremos 35.5. Lakatos nos ofrece un enunciado imaginario: "Si diecisiete procedimientos químicos purificadores $p_1, p_2, \ldots p_{17}$ se aplican a un gas, lo que resta es cloro puro." Presentado así esquemáticamente, vemos inmediatamente que lo podemos rechazar y requerir que se aplique p_{18}. Sin embargo, en la vida real esto no sucede. Preocupados de que los pesos atómicos británicos (enteros) no coincidían con los del continente, se formaron varios comités, y se le encargó a Edward Turner llegar al fondo del asunto. Él obtuvo consistentemente 35.5, y por un tiempo fue criticado; por ejemplo, Prout sugirió que el cloruro de plata podía llevar consigo algo de agua. Se encontró un método para eliminar esta posibilidad. Pronto los científicos británicos tuvieron que aceptar la conclusión de que el peso atómico del cloro era 35.5. Algunos laboratorios con más recursos de París, todavía intrigados con la posibilidad de que el hidrógeno fuera el ladrillo con el que está construido el universo, y sorprendidos de que las antiguas determinaciones del carbono estaban equivocadas, lo hicieron todo de nuevo, desde el principio. Pero después de mucho trabajo no había ninguna posibilidad

de que el cloro tuviera un peso de 36. No había manera de salvar la hipótesis sosteniendo que hacían falta mejores procesos purificadores, y esto fue todo.

Después de todo, la hipótesis estaba cerca de la verdad, pero esto requirió un programa de investigación muy diferente y la idea de la separación física de los elementos. Al principio de nuestro siglo, Rutherford y Soddy hicieron ver que los elementos no tienen pesos atómicos únicos, sino que son mezclas de isótopos diferentes, que el peso de 35.5 es un promedio de los muchos pesos realmente existentes. Además, la segunda hipótesis de Prout está cerca de la verdad. Si no hablamos del hidrógeno sino del ion de hidrógeno, o protón, entonces los pesos de todos los isótopos son esencialmente pesos integrales de éste. No es el único ladrillo básico, pero es seguramente uno de ellos.

No deberíamos pensar en la hipótesis de Prout como "salvada" por hipótesis auxiliares. El proceso de la eliminación del error analítico simplemente llegó a su fin. El peso atómico del cloro en la tierra es cerca de 35.5 y nada puede cambiar esto. En cuanto al descubrimiento de los isótopos, ésta no fue una nueva hipótesis auxiliar destinada a salvar el programa de Prout. Era una hipótesis totalmente nueva. Prout fue simplemente el afortunado químico precursor de la idea física. Esto no tiene nada que ver con la tesis de Duhem.

CRUCIAL SÓLO EN RETROSPECTIVA

La oposición de Lakatos a los experimentos cruciales niega la idea *no* baconiana de que hay pruebas decisivas que favorecen una teoría y demuelen otra. Sólo en retrospectiva, nos dice él, los historiadores consideran decisivo un experimento. Su metodología de programas de investigación nos enseña esto precisamente. Si T es una teoría en uso en el programa P^*, podemos inventar un experimento para poner a prueba T en contra de T^*. Si T gana esta vez, es todavía posible que P^* se recupere y que se proponga una teoría que a su vez elimine a T. Sólo si, después de un tiempo, P^* desaparece totalmente, decimos más tarde que T^* era crucial.

En la terminología más modesta de Bacon, un experimento-encrucijada puede ser visto como tal en su tiempo. Si la prueba favorece a T, entonces las señales dicen que la verdad puede estar en la dirección P. Podemos ver a Bacon a través de los ojos de Lakatos, con el desagrado de ambos. Imaginémonos una red de caminos, un mapa ordinario de caminos. En una intersección, las flechas pueden señalar "verdad" en una dirección, la

dirección de T y P. Por lo que no seguimos en el camino P^*. Este camino puede todavía más tarde intersectar el camino P. P^* lleva a un teoría revisada $T_1{}^*$. Una nueva prueba en la encrucijada entre T y $T_1{}^*$ puede llevarnos a seguir el camino P^*. Sólo si en el camino P nunca más nos cruzamos con P^* diremos que, en retrospectiva, la encrucijada fue decisiva.

Esto, sin embargo, es degradar demasiado el papel de los experimentos. Cierto tipo de descubrimientos experimentales sirven como puntos de referencia, hechos permanentes acerca de los fenómenos que toda teoría futura tiene que acomodar, y que, en conjunción con puntos de referencia teóricos comparables, de manera bastante permanente nos obligan a tomar una dirección. Esto lo podemos ver en el caso del controvertido experimento de Michelson y Morley. Fue citado muchas veces como una razón decisiva para rechazar la idea newtoniana de que el espacio está lleno de un éter que todo lo atraviesa. Einstein reemplazó esto por su teoría de la relatividad. Pero él mismo apenas sabía algo acerca del experimento de Michelson y Morley, y su historia con seguridad no tiene que ver con "poner a prueba a Newton y a Einstein". Lakatos utiliza este hecho como una pieza central de su ataque contra los experimentos cruciales. También lo utiliza para argüir que todos los experimentos son sirvientes de una teoría.

De hecho, el experimento es un buen ejemplo de la exploración baconiana de la naturaleza. Se ha discutido tanto que siempre será motivo de controversia, pero es útil que pongamos una versión experimentalista al lado de la de Lakatos. Para hacer esto tenemos que rescatar al éter del olvido.

EL ÉTER OMNIPRESENTE

Newton escribió que "todo el espacio está lleno de un medio elástico o éter, que es capaz de propagar las vibraciones del sonido con una gran velocidad". Continúa Newton diciendo que la luz no es una onda en el éter, sino que el éter es un medio a través del cual se mueven los rayos de luz. La óptica de Newton hizo muy poco uso del éter. Los leibnizianos se burlaban del éter por considerarlo una "sustancia oculta", así mismo trataban de ignorar la gravedad por parecerles una "fuerza oculta".

Ondas: La teoría ondulatoria puso a trabajar seriamente al éter. Esto fue enunciado claramente por el fundador (o reinventor) de la teoría ondulatoria, Thomas Young (1773–1829): "(I) un éter luminoso muy tenue y elástico se encuentra en todo el universo. (II) Se generan ondulaciones en el éter cuando un cuerpo se vuelve luminoso. (III) La sensación de colores diferentes

depende de la diferencia de frecuencia de las vibraciones generadas por la luz en la retina."[3]

Viento de éter: Le debemos a Agustin Fresnel (1788–1827) las matemáticas de la teoría ondulatoria. Él supuso, además, que si la luz pasa a través de un medio, entonces habría un cierto efecto del "viento": que disminuiría el movimiento aparente de la luz. Esto correspondía de una manera vaga con el descubrimiento de J. Doppler (1803–1853) en 1842. Si la fuente luminosa se mueve en relación con el observador, entonces hay una alteración en la frecuencia percibida (color) de la luz. Éste es un fenómeno eminentemente ondulatorio, conocido en el sonido, con el cambio de tono asociado entonces con los silbatos de los trenes y, en nuestros días, con las sirenas de policía.

Aberración astronómica: Las estrellas no están donde parecen estar. Esta "aberración astronómica" recibió varias explicaciones. Fresnel obtuvo una a partir del viento etéreo. En 1845 G.G. Stokes propuso la idea contraria, un cuerpo en movimiento arrastra éter consigo. "Supongo que la Tierra y los planetas llevan consigo una porción del éter, de tal manera que el éter cercano a sus superficies está en reposo en relación con esas superficies, mientras que su velocidad cambia si nos alejamos de la superficie, hasta que, a una distancia no muy grande, está en reposo en el espacio."[4]

Electromagnetismo: James Clerk Maxwell unió brillantemente la teoría de la luz con la del electromagnetismo. No tenía mucho entusiasmo por el éter, pero concluyó que: sin importar las dificultades que podamos tener en formarnos una idea consistente de la constitución del éter, no puede haber duda de que los espacios interplanetarios no están vacíos, sino ocupados por una sustancia material o cuerpo. . . "[5] Uno de los problemas era que ningún éter basado en alguna variante de un modelo sólido elástico podía funcionar, esto es, dadas las leyes conocidas de la reflexión y la doble refracción.

Ondas inalámbricas: En 1873, Maxwell predijo que debería haber ondas electromagnéticas invisibles, similares a las ondas de luz. H.R. Hertz (1857–1894) mostró que Maxwell estaba en lo correcto por medio de su descubrimiento de las ondas de radio. Hertz estaba algo dudoso acerca del

[3] Thomas Young, "Bakerian Lectures", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, no. 92, 1801, pp. 14–21.

[4] G.G. Stokes, "On the Aberration of Light", *Philosophical Magazine*, serie 3, no. 27, 1845, pp. 9–10.

[5] J. Clerk Maxwell, "Ether", *Encyclopedia Britannica*, 9a. ed., v. 8, 1893, p. 572. (Puesta en circulación en 1878.)

éter, pero en 1894, su gran maestro, H. Helmholtz, escribiría acerca de Hertz póstumamente: "Con estas investigaciones, Hertz ha enriquecido la física con nuevas y muy interesantes ideas acerca de los fenómenos naturales. No puede ya haber ninguna duda de que las ondas luminosas consisten en vibraciones eléctricas en el omnipresente éter, y que este último posee las propiedades de un aislante y de un medio magnético."[6]

EL EXPERIMENTO

Éste es quizás el resumen más breve posible del estado de la física en la época en que Michelson empezó su ahora famosa serie de experimentos. Mi propósito es contrastar las descripciones de Lakatos con las proporcionadas por el experimentador. En 1878 Maxwell había escrito un artículo que más tarde aparecería como "Éter" en la novena edición de la *Encyclopedia Britannica*. Sugiere la idea para el experimento de Michelson, al mismo tiempo que implica que no hay ninguna esperanza de poder llevarlo a cabo.

> Si fuera posible determinar la velocidad de la luz observando el tiempo que toma en viajar de una estación a otra sobre la superficie de la tierra, podríamos, comparando las velocidades observadas en direcciones opuestas, determinar la velocidad del éter con respecto a las estaciones terrestres. Todos los métodos, sin embargo, por medio de los cuales es practicable el hecho de determinar la velocidad de la luz a partir de experimentos en la tierra dependen de la medición del tiempo requerido para el viaje de ida y vuelta de una estación a otra, y el aumento del tiempo debido a la velocidad relativa del éter, igual a la de la tierra en su órbita, sería sólo cerca de una parte en cien millones del tiempo de transmisión y sería por lo tanto imperceptible.[7]

La idea experimental: "Todos los métodos", dijo Maxwell, fallarían. Pero no. Michelson se dio cuenta de que deberíamos partir un rayo de luz, por medio de un espejo semitransparente, y mandar la mitad de los rayos en la dirección del movimiento de la tierra, y la otra mitad en ángulo recto a ese movimiento. Cuando fueran reflejados, podríamos ver si hubo algún efecto de interferencia, debido al cambio de fase causado por las dos velocidades resultantes. Casi nadie creía que esta idea podría funcionar. Michelson tuvo también dificultades. Por ejemplo, los caballos que pasaban afuera transtornaban completamente el experimento, debido a las vibraciones usualmente

[6] H. von Helmholtz, prefacio a H. Hertz, *The Principle of Mechanics*, traducida al inglés por D.E. Jones y J.J. Wallis, Londres, 1894, p. xi.

[7] Maxwell, "Ether", p. 570.

imperceptibles del edificio. Finalmente se fue al campo y puso a flotar todo el experimento en un baño de mercurio para amortiguar el "ruido". Ésta es una manera típica en la que el experimento evita fenómenos indeseables.

El experimento para poner a prueba la teoría: Lakatos escribe: "Michelson primero inventó un experimento para poner a prueba las teorías contradictorias de Fresnel y Stokes acerca de la influencia del movimiento de la Tierra en el éter."

Esto no es cierto. Como experimentador, Michelson quería hacer lo que Maxwell había dicho que era imposible, a saber, medir el movimiento de la Tierra relativo al éter, independientemente de cualquier teoría. Esto es precisamente lo que le dice en una carta a Simon Newcomb, fechada el 22 de noviembre de 1880 en Berlín. Michelson había estudiado en París, bajo la tutela de un discípulo de Fizeau, y estaba listo para su propia determinación experimental. Su protector era Alexander Graham Bell, a quien le escribió el 17 de abril de 1881: "Los experimentos concernientes al movimiento relativo de la Tierra con respecto al éter han sido terminados exitosamente. El resultado es *negativo*."[8]

Un resultado negativo: El resultado fue ciertamente negativo. Un resultado positivo habría sido sensacional, ya que habría determinado el movimiento absoluto de la Tierra en el espacio. Si sólo la naturaleza hubiera cooperado, esto hubiera pasado a la historia como el triunfo de siglos de especulación. Podríamos saber que el espacio es absoluto y cuál es la velocidad absoluta con que la Tierra atraviesa el espacio.

El resultado del experimento: Lakatos escribe que "Michelson sostenía que su experimento de 1881 era un experimento crucial [entre las explicaciones de aberración de Fresnel y Stokes] y que probó la teoría de Stokes". Michelson no dijo nada de esto. Él escribió: "La interpretación de estos resultados es que no hay un desplazamiento de las bandas de interferencia. Se muestra así que es incorrecto el resultado de la hipótesis de un éter estacionario, y la conclusión que se sigue necesariamente es que la hipótesis es errónea."[9] No pretendía mostrar que Stokes estaba en lo correcto, a lo mucho, quería mostrar que Fresnel estaba equivocado.

La aberración: Michelson continúa diciendo que sus resultados "contradicen directamente la explicación del fenómeno de aberración generalmen-

[8] Una carta publicada por primera vez en Nathan Reingold, *Science in Nineteenth Century America*, Washington, 1971, pp. 288–290.

[9] "The Relative Motion of the Earth and of the Luminiferous Ether", *American Journal of Science*, tercera serie, no. 22, 1881, p. 128.

te aceptado", esto es, la explicación de Fresnel. Al final dice que "puede que no esté fuera de lugar agregar un extracto" de un trabajo de Stokes. Stokes había dicho que no parecía haber "un resultado que permitiera la comparación con el experimento, que siempre sería diferente dependiendo de la teoría que adoptáramos" (*i.e.* la de Stokes, o la de Fresnel). Stokes dice: "Sería satisfactorio si fuera posible poner a prueba las dos teorías por medio de un experimento decisivo." Michelson cita a Stokes sin comentario. No está diciendo "oblicuamente" —como Lakatos dice— que mostró que Stokes estaba en lo correcto. Tampoco llama al experimento un experimento decisivo. Lo que implica es el triunfo del experimentador sobre el teórico: ahora puedo determinar lo que hasta ahora ha sido inaccesible para ustedes.

El experimento de 1886: Michelson se unió a Morley para volver a ejecutar el experimento de Fizeau de 1852, en el que se envía luz a través de una corriente de agua en dirección opuesta a la de la corriente. Morley era un químico experto en el soplado de vidrio, algo requerido en el delicado trabajo con vidrio para el agua en movimiento. Concluyeron que Fizeau estaba básicamente en lo correcto, aunque reinterpretaron un poco la teoría de Fresnel. Terminaron diciendo: "El resultado de este trabajo es, pues, que el resultado enunciado por Fizeau es esencialmente correcto; y que el éter luminoso no se afecta por el movimiento de la materia que atraviesa."[10] Creo que Lakatos no menciona este experimento para nada.

La teoría entra: H. Lorentz, uno de los grandes teóricos de final de siglo, estaba muy interesado en el éter. Lakatos exagera cuando dice que:

> Como sucede con frecuencia, Michelson el experimentador recibió una lección del teórico. Lorentz, el gran físico teórico [. . .] mostró [. . .] que los cálculos de Michelson estaban equivocados; la teoría de Fresnel predecía sólo la mitad del efecto que Michelson había calculado [. . .] Por cierto, cuando un físico francés, Potier, le hizo ver a Michelson su error de 1881, Michelson decidió no publicar una nota de corrección.

Esto es falso. Michelson publicó la nota en francés en *Comptes Rendus*, no. 94, 1882, p. 520. Había una nota a pie de página para Potier.

El experimento de 1887: Éste es el famoso experimento de Michelson y Morley. Lakatos habla de "una carta de Rayleigh que los dirigió a unos trabajos de Lorentz. Esta carta llevó al experimento de 1887". Esto es falso. La carta fue escrita a principios de 1887. El experimento fue llevado a cabo

[10] A.A. Michelson y E.W. Morley, "Influence of the Motion of the Medium on the Velocity of Light", *American Journal of Science*, tercera serie, no. 31, 1886.

en julio de 1887. Se puede ver por qué Lakatos saltó a sus conclusiones. De hecho, el experimento fue planeado para realizarlo en 1886 y estaba totalmente financiado para ese entonces. Se empezó a trabajar en octubre, pero la base material del experimento fue destruida en un incendio el 27 de octubre, lo que retardó su ejecución. El experimento fue iniciado mucho antes de la carta que supuestamente lo motivó (pudo haber sido motivado por las conferencias de Kelvin en Baltimore el año anterior).

El experimento de 1887 no fue tan satisfactorio como Michelson esperaba. Con equipo más preciso los dos científicos no obtuvieron resultado cero. Como Michelson le escribió a Rayleigh en 1887, "si el éter atraviesa la Tierra, la velocidad relativa es menor que un sexto de la velocidad de la Tierra".[11] Pensó que deberían hacer el experimento de nuevo en diferentes épocas del año, y ver si había alguna diferencia perceptible con la altura en la velocidad del éter. Lakatos se sorprende de que Michelson no haya hecho lo que dijo que se debería hacer como próximo paso. ¿Era porque estaba preocupado con lo que estaba haciendo la teoría? No. Michelson era un experimentador. Publicó una serie de nuevos trabajos acerca de su invención, el interferómetro, algo que encontraba más fascinante que el éter. Atrajo la atención de la asociación norteamericana para el desarrollo de la ciencia con su "propuesta por ondas luminosas", ondas que, utilizando su invención, podían llevar a una nueva manera de definir el metro estándar.

Repitición del experimento: Michelson volvió dos veces más al éter. Lakatos escribe: "La larga serie de los experimentos de Michelson de 1881 a 1935, hechos para poner a prueba diferentes versiones del programa del éter, proporcionan un ejemplo fascinante de un cambio de programa en degeneración." Bueno, para empezar, los experimentos que hizo de 1931 a 1935 debe haberlos hecho en un plano astral, porque murió en 1931. La "larga serie de experimentos" entre 1881 y 1935 hechos por Michelson son exactamente los siguientes: 1881, 1886, 1887, 1897, 1925. Muchos otros trataron de mejorar o modificar los resultados de Michelson, pero no hay tal larga serie de experimentos de Michelson.

Su experimento de 1897 mostró que la altura no altera el resultado, y dice que hay muchas explicaciones que les deja a los teóricos para que las evalúen. Tal vez, dice él, la atmósfera de la tierra es más grande de lo que pensábamos. Tal vez la idea de la contracción de FitzGerald, algo que estaba entonces muy de moda, es correcta. Tal vez Stokes estaba en lo correcto

[11] *Cfr.* R.S. Shankland, "Michelson-Morley Experiment", *American Journal of Physics*, no. 32, 1964, pp. 16–35.

desde el principio. Michelson, el experimentador, no desarrolla ningún programa como Lakatos escribe. Y en lo concerniente al experimento de 1925, Miller sostenía que había detectado un viento etéreo, por lo que el Michelson de 75 años volvió a hacer su experimento de la juventud para estar seguro de que no había cometido un terrible error. No lo había cometido.

LAS FACULTADES EXPERIMENTALES Y LAS RACIONALES

Popper interpretó el experimento de Michelson y Morley como un claro experimento crucial en relación con la teoría de la relatividad. En particular, sugiere que la luz tiene la misma velocidad en todos los medios y en todas las direcciones. Lakatos y muchos otros recalcan correctamente que la importancia histórica es tangencial. Popper y Lakatos, sin embargo, hacen énfasis en la facultad racional. Hay muchas otras fantasías publicadas acerca del experimento de Michelson-Morley, y ciertamente no pretendo haber dicho algo concluyente. Escogí a Lakatos para una lección porque pienso que su filosofía es importante. Sin embargo, cuando se trata de extraer inferencias teóricas de casos de la vida real, como con Prout y Michelson, la inferencia es siempre demasiado rápida. Una filosofía dominada por la teoría lo ciega uno respecto a la realidad.

Sin lugar a dudas, Michelson es un poco como la hormiga de Bacon, un genio con los experimentos mecánicos y débil en la teoría —aunque sin ser un ignorante. De la misma manera, Lorentz es, en menor grado, como la araña de Bacon. Los dos científicos tenían una opinión elevada uno del otro. Lorentz estimuló el trabajo de Michelson, mientras que al mismo tiempo trataba de desarrollar una matemática del éter que le permitiría explicarlo. Si había un programa en degeneración supongo que era el de Lorentz. Lo más importante es que vemos la interacción entre dos tipos de talento. La gran importancia de las teorías de la relatividad de Einstein hacen que el trabajo teórico sea muy importante en este dominio. Michelson también abrió nuevos caminos para la técnica experimental. La ciencia, como escribió Bacon, debe ser como la abeja, con los talentos de la hormiga y de la araña, pero capaz de algo más, de digerir y de interpretar el experimento y la especulación.

16

LA EXPERIMENTACIÓN Y EL REALISMO CIENTÍFICO

El trabajo experimental proporciona la mejor evidencia para el realismo científico. Esto no se debe a que ponemos a prueba hipótesis acerca de entidades. Más bien, es porque las entidades que en principio no pueden ser "observadas" se manipulan regularmente para producir nuevos fenómenos y para investigar otros aspectos de la naturaleza. Son herramientas, instrumentos para hacer y no para pensar. La entidad teórica favorita del filósofo es el electrón. Mostraré cómo los electrones se convierten en entidades experimentales, o en entidades para el experimentador. En los primeros estadios del descubrimiento de una entidad podemos poner a prueba la hipótesis de que existe. Incluso esto es rutina. Cuando J.J. Thomson se dio cuenta en 1897 de que lo que llamó "corpúsculos" estaban saliendo de los cátodos calientes, casi la primera cosa que hizo fue medir la masa de estas partículas cargadas negativamente. Hizo una estimación cruda de e y de la carga, y midió e/m. El valor que obtuvo de m era bastante correcto. Millikan elaboró algunas de las ideas que ya se discutían en el laboratorio Cavendish, y en 1908 determinó la carga del electrón, esto es, la unidad mínima probable de carga eléctrica. Así, desde el principio la gente no ponía tanto la atención en probar la existencia del electrón, sino en el hecho de que interactuaban con ellos. Mientras mejor entendamos los poderes causales del electrón, mejor podremos construir aparatos que logren efectos bien comprendidos en otras partes de la naturaleza. Cuando se logra usar el electrón para manipular otras partes de la naturaleza de una manera sistemática, el electrón ha dejado de ser un ente hipotético o inferido. Ha dejado de ser teórico y se torna experimental.

EXPERIMENTADORES Y ENTIDADES

La inmensa mayoría de los físicos experimentales son realistas con respecto a algunas entidades teóricas: los que ellos *usan*. Sostengo que no pueden

evitar proceder de esta manera. Muchos físicos son también realistas acerca de teorías, pero esto es mucho menos importante para sus intereses.

Los experimentadores son frecuentemente realistas acerca de las entidades que *investigan*, pero no tienen que serlo. Millikan probablemente tenía pocas dudas acerca de la realidad de los electrones cuando se puso a medir su carga. Pero pudo haber tenido sus dudas. Tal vez hay una unidad mínima de carga eléctrica, pero no hay una partícula u objeto que tenga exactamente esta unidad de carga. La experimentación con un ente no nos obliga a creer que existe. Sólo *la manipulación* de un ente, para hacer experimentos en algo diferente, nos obliga a ello.

Es más, ni siquiera es el hecho de que los electrones se usen para hacer experimentos en algo diferente lo que hace imposible que dudemos de los electrones. Entender algunas de las propiedades causales de los electrones permite conjeturar cómo construir aparatos complejos muy ingeniosos que nos permitan alinear los electrones de la manera que se quiere para ver qué le va a suceder a alguna otra cosa. Una vez que tenemos la idea experimental correcta, sabemos por adelantado cómo tratar de construir el aparato, porque sabemos que ésta es la manera de hacer que los electrones se comporten de tal y tal manera. Los electrones no son maneras de organizar nuestros pensamientos o de salvar los fenómenos que han sido observados. Son maneras de crear fenómenos en algún dominio de la naturaleza. Los electrones son herramientas.

Hay un contraste experimental importante entre el realismo acerca de las entidades y el realismo acerca de las teorías. Digamos que el realismo acerca de teorías es la creencia en que la ciencia busca teorías verdaderas. Muy pocos experimentadores negarían esto. La búsqueda de la verdad es, sin embargo, algo acerca del futuro indefinido. Enfocar un haz de electrones es algo acerca del uso actual de electrones. Enfocar un láser muy precisamente afinado en un átomo particular para desprender cierto electrón y producir un ion es buscar electrones presentes. Por el contrario, no hay un conjunto de teorías en el que uno deba creer. Si el realismo acerca de las teorías es una doctrina acerca de los fines de la ciencia, es una doctrina cargada con cierta clase de valores. Si el realismo acerca de las entidades es cuestión de conseguir cierto tipo de electrones la semana que viene, o de buscar otro tipo de electrones en dos semanas, es una doctrina mucho más neutral acerca de valores. La manera en que los experimentadores son realistas científicos acerca de las entidades es totalmente diferente de las maneras en que pueden ser realistas acerca de las teorías.

Esto surge cuando pasamos de teorías ideales a teorías presentes. Hay varias propiedades que se le atribuyen con seguridad a los electrones, pero

muchas de estas propiedades se expresan en muchas y muy variadas teorías o modelos acerca de los cuales un experimentador puede ser bastante agnóstico. Incluso los miembros de un equipo de trabajo, que trabajan en diferentes partes de un mismo experimento enorme, pueden creer en diferentes teorías, incluso mutuamente inconsistentes, acerca de los electrones. Los modelos que son buenos para el cálculo de un cierto aspecto de los electrones, son pobres para otros. En ocasiones un equipo tiene que seleccionar un miembro con una perspectiva teórica diferente, simplemente para tener a alguien que pueda resolver ciertos problemas experimentales. Se puede seleccionar a alguien entrenado en el extranjero, que hable de una manera inconmensurable con la del equipo de investigadores, para tener gente que pueda producir los efectos que queremos.

¿Puede ser posible que no haya un núcleo común de teoría, es decir, una intersección de las teorías de cada uno del grupo, que es la teoría del electrón en la que todos los experimentadores creen? Yo diría que hay una tradición común, pero no un núcleo común. Hay una gran variedad de teorías, modelos, aproximaciones, imágenes, formalismos, métodos y así sucesivamente, que conciernen a los electrones, pero no hay razón para suponer que la intersección de éstas sea una teoría. Tampoco la hay para creer que haya algo así como "la teoría más poderosa no trivial contenida en la intersección de todas las teorías en las que éste o aquel miembro de un equipo ha sido entrenado para creer". Aun cuando hay muchas creencias compartidas, no hay razón para suponer que forman algo que valga la pena llamar teoría. Naturalmente, los miembros de un equipo tienden a formarse con gente de ideas semejantes en el mismo instituto, por lo que generalmente hay una base teórica compartida en su trabajo. Éste es un hecho sociológico, no un fundamento para el realismo científico.

Reconozco que muchas versiones del realismo científico concernientes a teorías no son una doctrina acerca del presente, sino acerca de lo que podemos alcanzar, o acerca de un ideal al que podemos aspirar. Así, decir que no hay una teoría presente no va en contra de este ideal optimista. El hecho es que tal realismo científico acerca de las teorías tiene que adoptar los principios de Peirce de fe, esperanza y caridad.[1] El realismo científico acerca de las entidades no tiene tales virtudes. Surge de lo que podemos hacer en el presente. Para entender esto, debemos ver más detalladamente

[1] "Propongo tres actitudes, a saber, interés en una comunidad indefinida, reconocimiento de la posibilidad de que ese interés sea supremo y la esperanza en la continuación sin límite de la actividad intelectual, como requisitos indispensables de la lógica [. . .] estos tres sentimientos son muy similares al famoso trío de la caridad, la fe y la esperanza. . . " C. Hartsborne y P. Weiss (comp.), *The Collected Papers of C.S. Peirce*, vol. 2, sec. 665.

en qué consiste construir un aparato que haga que los electrones se sienten correctamente y se comporten.

EL HACER

Aunque los experimentadores sean realistas acerca de las entidades, no se sigue que estén en lo cierto. Tal vez es una cuestión de psicología: tal vez las mismas cualidades que llevan a la formación de un gran experimentador se acompañan de una manera de pensar que convierte en objetos todo lo que piensa. Pero esto no es así. El experimentador está dispuesto a considerar a los bosones neutrales meras entidades hipotéticas, mientras que considera reales a los neutrones. ¿Cuál es la diferencia?

Hay muchas maneras en las que se pueden hacer instrumentos que se apoyan en las propiedades de los electrones para producir efectos de una precisión extraordinaria. Daré ejemplos de esto. El argumento —podríamos llamarlo argumento experimental en favor del realismo— no es que inferimos la realidad de los electrones del éxito que obtenemos. No hacemos instrumentos y después inferimos la realidad de los electrones, como cuando ponemos a prueba una hipótesis, y luego creemos en ella porque pasó la prueba. Esto pone el orden temporal en la dirección equivocada. En principio, diseñamos un aparato apoyándonos en un pequeño número de verdades acerca de los electrones, para producir otro fenómeno que queremos investigar.

Esto puede dar la apariencia de que creemos en los electrones porque predecimos cómo va a funcionar nuestro aparato. Esto es también incorrecto. Tenemos una serie de ideas generales acerca de cómo producir electrones polarizados. Empleamos bastante tiempo construyendo prototipos que no funcionan. Logramos localizar varios problemas. Con frecuencia tenemos que aceptar la derrota e intentar por otro camino. Localizar problemas no es una cuestión de explicar teóricamente o de predecir lo que está mal. Es en parte una cuestión de eliminar el "ruido", lo que muchas veces quiere decir: todos los sucesos que no se entienden a partir de alguna teoría. El instrumento debe ser capaz de aislar, físicamente, las propiedades de las entidades que queremos utilizar, y amortiguar todos los otros efectos que pueden estorbar nuestro camino. *Estamos completamente convencidos de la realidad de los electrones cuando regularmente construimos —y las más de las veces tenemos éxito en la construcción— nuevos tipos de aparatos que utilizan diversas propiedades causales bien comprendidas de los electrones que nos permiten interferir en otras partes más hipotéticas de la naturaleza.*

No es posible entender esto sin un ejemplo. Muchas veces los ejemplos históricos más conocidos están contaminados por falsas filosofías o historias orientadas hacia lo teórico. Por ello, emplearé un ejemplo nuevo: un cañón de electrones, cuyo nombre abreviado es PEGGY II. En 1978 se empleó en un experimento fundamental que atrajo la atención incluso de *The New York Times*. En la siguiente sección describiré la importancia de haber hecho el PEGGY II, por lo que, tendré que decir algo acerca de la nueva física. Sin embargo, se puede omitir esta sección y leer sólo la de ingeniería que aparece enseguida. Aun así puede ser interesante conocer el significado bastante comprensible de los principales resultados experimentales, a saber: (I) la paridad no se conserva en la dispersión de electrones polarizados de deuterio, y (2) más sencillamente, la paridad se viola en interacciones de corrientes neutrales débiles.[2]

LA PARIDAD Y LAS CORRIENTES NEUTRALES DÉBILES

Hay cuatro fuerzas fundamentales en la naturaleza, no necesariamente distintas. La gravedad y el electromagnetismo nos son familiares. Además, existen las fuerzas fuertes y las débiles, cumplimiento del programa de Newton en la *Óptica*, que enseñó que toda la naturaleza sería entendible mediante la interacción de partículas con diversas fuerzas que serían efectivas en la atracción o la repulsión en distancias diferentes (*i.e.* con razones diferentes de extinción).

Las fuerzas fuertes son 100 veces más fuertes que el electromagnetismo, pero actúan sólo en una distancia muy pequeña, no más que el diámetro de un protón. Las fuerzas fuertes actúan en "hadrones", que incluyen protones, neutrones y partículas más recientes, pero no en los electrones ni en cualquier otro de los miembros de la clase de partículas llamadas "leptones".

Las fuerzas débiles tienen sólo 1/10 000 de la intensidad del electromagnetismo y actúan en una distancia que es 1/100 de la de las fuerzas fuertes. Pero actúan en hadrones y leptones, incluyendo a los electrones. El ejemplo más familiar de una fuerza débil puede ser la radiactividad.

La teoría que motiva tal especulación es la electrodinámica cuántica. Es increíblemente exitosa, hace predicciones que son más precisas que una parte en un millón, un milagro de la física experimental. Se aplica en distancias

[2] La exposición simplificada que aquí ofrecemos se basa en una serie de amables conversaciones con algunos de los experimentadores, y también en el informe interno "Parity Violation in Polarized Electron Scattering" de Bill Kirk, *SLAC Beam Line*, no. 8, octubre de 1978.

que van del diámetro de la Tierra a 1/100 del diámetro del protón. Esta teoría supone que todas las fuerzas son "llevadas" por algún tipo de partícula. Los fotones tienen esta función en el electromagnetismo. Hipotéticamente hablamos de "gravitones" para la gravedad.

En el caso de las interacciones que involucran a las fuerzas débiles, hay corrientes cargadas. Postulamos que las partículas llamadas bosones llevan estas fuerzas débiles. Para las corrientes cargadas, los bosones pueden ser positivos o negativos. En los años setenta surgió la posibilidad de que hubiera corrientes débiles "neutrales" en las que ni se lleva ni se intercambia carga. Por analogía con las partes corroboradas de la electrodinámica cuántica, los bosones neutrales fueron postulados como los portadores de las interacciones débiles.

El descubrimiento más famoso de la física de altas energías es la falla del principio de conservación de la paridad. Al contrario de las expectativas de muchos físicos y filósofos, incluyendo a Kant, la naturaleza hace una distinción absoluta entre la derecha y la izquierda. Aparentemente esto sólo sucede en las interacciones débiles.

Lo que queremos decir con derecha o izquierda en la naturaleza tiene un elemento de convención. Mencioné que los electrones tienen espín. Imaginémonos nuestra mano derecha rodeando una partícula en rotación con los dedos apuntando en la dirección del espín. Entonces se dice que nuestro pulgar apunta en la dirección del vector espín. Si tales partículas viajan en un rayo, consideremos la relación entre el vector espín y el rayo. Si todas las partículas tienen su vector espín en la misma dirección que el rayo, tienen polarización derecha, mientras que si el vector espín va en la dirección opuesta a la del rayo, tienen polarización lineal izquierda.

El descubrimiento original de la violación de la paridad mostró que el tipo de producto de un decaimiento de partículas, llamado neutrino muón, existía sólo en la polarización izquierda y nunca en la polarización derecha.

Las violaciones de la paridad se han encontrado para interacciones *cargadas* débiles. ¿Qué sucede con corrientes *neutrales* débiles? El sorprendente modelo de Weinberg-Salam para los cuatro tipos de fuerza fue propuesto independientemente por Stephen Weinberg en 1967 y A. Salam en 1968. Implica una violación mínima de la paridad en interacciones neutrales débiles. Dado que el modelo es pura especulación, su éxito ha sido increíble e inspirador de respeto. Así, parecía valioso predecir la falla de la paridad para las interacciones neutrales débiles. Esto nos enseñaría más acerca de esas fuerza débiles que actúan en una distancia tan pequeña.

La predicción es: los electrones polarizados por la izquierda que golpean ciertos blancos van a dispersarse un poco más que los electrones polarizados

por la derecha. ¡Un poco más! La diferencia en frecuencia relativa de los dos tipos de dispersión es una parte en 10 000, comparable a la diferencia en la probabilidad entre 0.50005 y 0.49995. Supongamos que utilizamos el equipo estándar en el Acelerador Lineal de Stanford de principios de los años setenta. Genera 120 pulsos por segundo; cada pulso proporciona un suceso identificable con un electrón. Se tendría que hacer trabajar el acelerador durante 27 años para detectar una diferencia tan pequeña en la frecuencia relativa. Y si tomamos en cuenta que utilizamos el mismo rayo para una serie de experimentos simultáneos, permitiendo que diferentes experimentos utilicen diferentes pulsos, y considerando que ningún equipo permanece estable por un mes, no digamos 27 años, tal experimento sería imposible. Se requieren muchísimo más electrones por pulso. Necesitamos entre 1 000 y 10 000 electrones más por pulso de lo que antes era posible. El primer intento utilizó un instrumento ahora llamado PEGGY I. Tenía, esencialmente, una versión muy refinada del cátodo caliente de J.J. Thomson. Se calentaba litio y los electrones se desprendían. PEGGY II utiliza principios muy diferentes.

PEGGY II

La idea básica empezó cuando C.Y. Prescott encontró (por "casualidad") un artículo en una revista de óptica acerca de una sustancia llamada arseniuro de galio. El GaAs tiene una curiosa propiedad. Cuando incide en ella la luz polarizada circularmente de las frecuencias correctas, emite muchos fotones linealmente polarizados. Existe un buen entendimiento básico mecánico-cuántico de por qué sucede esto y de por qué la mitad de los electrones emitidos están polarizados, 3/4 en una dirección y 1/4 en la otra.

PEGGY II utiliza este hecho, además de que el GaAs emite muchos electrones debido a las características de su estructura cristalina. Lo que sigue es bastante de ingeniería. Es difícil liberar un electrón de una superficie. Sabemos que pintar la superficie con el tipo correcto de sustancia ayuda. En este caso, una capa muy delgada de cesio y oxígeno se aplica al cristal. Además, si hay menos presión de aire alrededor del cristal más electrones van a escapar con la misma cantidad de trabajo, por lo que el bombardeo se efectúa en el vacío y a la temperatura del nitrógeno líquido.

Necesitamos la fuente de luz correcta. Un láser con emisiones de luz roja (7100 Ångstroms) se dirige al cristal. La luz primero pasa a través de un polarizador ordinario, un prisma de calcita o un espato de Islandia. Esto produce una luz linealmente polarizada. Queremos que la luz circularmente

polarizada incida en el cristal. El haz del láser polarizado pasa ahora a través de un aparato muy ingenioso llamado célula de Pockel, que transforma eléctricamente los fotones linealmente polarizados en fotones circularmente polarizados. Siendo eléctrico, actúa como un interruptor muy rápido. La dirección de la polarización circular depende de la dirección de la corriente dentro de la célula. Así, la dirección de la polarización puede variar al azar. Esto es importante, porque tratamos de detectar una asimetría entre la polarización derecha y la izquierda. El azar nos ayuda a evitar alguna "tendencia" sistemática en el equipo. El azar se genera mediante un aparato de decaimiento radiactivo, y una computadora mantiene en la memoria la dirección de la polarización para cada pulso.

Un pulso circularmente polarizado incide en el cristal de GaAs, y el resultado es un pulso de electrones linealmente polarizados. Un haz de tales pulsos es maniobrado por magnetos en el acelerador para la próxima fase del experimento. Pasa a través de un aparato que determina la proporción de la polarización a lo largo del camino. El resto del experimento requiere otros aparatos y detectores de ingenio comparable, pero detengámonos aquí, en PEGGY II.

LAS DIFICULTADES

Las descripciones cortas dan la impresión de que todo es muy fácil, pero veamos algunas de las dificultades. Muchas de las dificultades nunca se entienden. Se eliminan simplemente por ensayo y error. Ejemplifiquemos tres tipos: (1) las limitaciones técnicas que al final tienen que incorporarse en el análisis de errores; (2) los defectos mecánicos simples que uno nunca piensa hasta que los tiene encima; (3) las conjeturas acerca de lo que puede fallar.

1. Los rayos láser no son tan constantes como la ciencia ficción nos dice, y hay siempre cierta cantidad de "vibración" en el rayo en cualquier intervalo de tiempo.

2. En un nivel más humilde, los electrones del cristal de GaAs se dispersan hacia atrás y se van en el mismo canal del rayo láser utilizado para incidir en el cristal. La mayoría de ellos se deflectan magnéticamente. Pero algunos se reflejan en el aparato láser y se van nuevamente al sistema. Hay que eliminar estos electrones ambientales. Esto se hace por medios mecánicos corrientes, enfocándolos hacia fuera del cristal.

3. Los buenos experimentadores se protegen del absurdo. Supongamos que las partículas de polvo yacen planas en la superficie del experimento cuando un pulso polarizado incide en ellas, y luego se ponen de cabeza cuando incide otro pulso polarizado en la dirección opuesta. ¿Puede esto tener un efecto sistemático, dado que estamos detectando una asimetría tan minúscula? Uno de los miembros del equipo pensó en esto durante la noche, y a la mañana siguiente roció algo contra el polvo. Siguieron haciendo esto durante un mes, por si las dudas.

LOS RESULTADOS

Se requirieron cerca de 10^{11} sucesos para obtener un resultado que pudiera reconocerse en contraste con el error sistemático y estadístico. Si bien la idea de un error sistemático presenta interesantes problemas conceptuales, parece que no es conocido por los filósofos. Había incertidumbre sistemática en la detección de la polarización derecha e izquierda, se presentaba algo de vibración y había otros problemas acerca de los parámetros de los dos tipos de haz. Estos errores pueden analizarse y sumarse linealmente para obtener el error estadístico. Para un estudiante de inferencia estadística, éste es un análisis que se hace conforme surgen las dificultades, sin ningún marco racional global. Pero sea como sea, gracias a PEGGY II, el número de sucesos fue lo suficientemente grande como para dar un resultado que convenciera a la comunidad de físicos. Los electrones polarizados por la izquierda se dispersan más frecuentemente que los electrones polarizados por la derecha. Éste fue el primer ejemplo convincente de la violación de la paridad en una interacción de corriente neutral débil.

COMENTARIO

La construcción de PEGGY II fue bastante no teórica. Nadie encontró primero las propiedades de polarización del GaAs: esto fue un encuentro casual con una investigación experimental. Si bien la mecánica cuántica de cristales explica el efecto de polarización, no explica las propiedades del cristal que de hecho se utiliza. Nadie ha logrado encontrar un cristal que polarice más de 37% de los electrones, aunque en principio 50% deberían polarizarse.

De manera semejante, tenemos una idea general de por qué las capas de cesio y oxígeno producen una afinidad electrónica negativa, esto es, hacen

más fácil que escapen los electrones, pero no tenemos un entendimiento cuantitativo de por qué esto aumenta 37% la eficiencia.

Tampoco había ninguna garantía de que las partes y los pedazos pudieran unirse. Para dar un ejemplo todavía más reciente, un trabajo futuro experimental, que más adelante describiré brevemente, requeriría aún más electrones por pulso que los que PEGGY II puede dar. Cuando el experimento de la paridad fue reportado en *The New York Times*, un grupo de los laboratorios Bell leyó el periódico y vio lo que pasaba. Ellos estaban construyendo una estructura reticular cristalina para otros propósitos. Utilizaban capas de GaAs y un compuesto relacionado de aluminio. La estructura del retículo nos lleva a esperar que virtualmente todos los electrones emitidos van a estar polarizados, por lo que sería posible duplicar la eficiencia de PEGGY II. Pero actualmente esta buena idea tiene problemas. El nuevo retículo debía cubrirse con una pintura que reduciría su eficiencia. El compuesto de cesio y oxígeno se aplica a altas temperaturas, por lo que el aluminio tiende a mezclarse con las capas vecinas de GaAs, y el retículo artificial se vuelve algo irregular, lo que limita sus propiedades de emisión de electrones polarizados. Tal vez esto nunca va a funcionar. Prescott simultáneamente está resucitando un nuevo cátodo termoiónico para tratar de obtener más electrones. La "teoría" no nos hubiera dicho que PEGGY II sería mejor que PEGGY I. Tampoco nos puede decir que algún PEGGY III será mejor que PEGGY II.

Nótese también que la gente del laboratorio Bell no necesitaba saber mucho acerca de corrientes neutrales débiles para empezar con su retículo de muestra. Todo lo que hicieron fue leer *The New York Times*.

MORALEJA

Hubo un tiempo en que tenía sentido dudar de que hubiera electrones. Incluso después de que Thomson midió la masa de sus corpúsculos y Millikan su carga, la duda seguía teniendo sentido. Teníamos que asegurarnos de que Millikan medía lo mismo que Thomson. Se requería una mayor elaboración teórica. La idea se tenía que incorporar en otros fenómenos. La física del estado sólido, el átomo, la superconductividad, todo tenía que hacer su parte.

Hubo un tiempo en el que la mejor razón que podíamos tener para pensar que hay electrones era su éxito en explicación. Hemos visto en el capítulo 12 cómo Lorentz explicó el efecto Faraday con su teoría del electrón. He dicho que la habilidad para explicar lleva consigo poca garantía de verdad.

Incluso en la época de J.J. Thomson, las mediciones importaban más que las explicaciones. Las explicaciones ayudaban. Puede ser que algunas personas hayan llegado a creer en los electrones debido a que la postulación de su existencia podía explicar una gran variedad de fenómenos. Felizmente ya no tenemos que pretender que inferimos a partir del éxito en explicar (*i.e.* a partir de lo que hace que nuestra mente se sienta bien). Prescott *et al.* no explican los fenómenos con electrones. Ellos saben cómo usarlos. Nadie en sus cabales piensa que los electrones "realmente" sólo son pequeñas esferas girando que podrían tomarse con una mano suficientemente pequeña y encontrar la dirección del espín con el pulgar. En su lugar, hay una familia de propiedades causales en términos de las cuales los experimentadores ingeniosos describen y utilizan electrones para investigar algo más; por ejemplo, las corrientes neutrales débiles y los bosones neutrales. Sabemos mucho acerca del comportamiento de los electrones. Es igualmente importante saber qué no es importante en relación con los electrones. Sabemos que torcer un haz de electrones polarizados en bobinas magnéticas no afecta la polarización de una manera significativa. También tenemos dudas muy fuertes como para ignorarlas, pero demasiado triviales como para ponerlas a prueba independientemente: por ejemplo, el polvo puede danzar debido a los cambios en la dirección de polarización. Estas sospechas están basadas en nuestra idea de lo que son los electrones, una idea adquirida con mucho trabajo (no importa para esta sospecha si los electrones son nubes, ondas o partículas).

CUÁNDO SE VUELVEN REALES LAS ENTIDADES HIPOTÉTICAS

Nótese el contraste total entre los electrones y los bosones neutrales. Me han dicho que todavía nadie puede manipular un grupo de bosones neutrales, si es que existe tal cosa. Incluso las corrientes débiles neutrales están apenas saliendo de la niebla de la hipótesis. Alrededor de 1980 se hicieron muchos experimentos convincentes de ellas. ¿Cuándo perderán su categoría de hipótesis y se volverán algo común como los electrones? Cuando los usemos para investigar algo más.

Mencioné el deseo de hacer un aparato mejor que PEGGY II. ¿Por qué? Porque ahora "sabemos" que se viola la paridad en las interacciones débiles neutrales. Tal vez por medio de un análisis estadístico más burdo que el involucrado en el experimento de paridad, podremos aislar las interacciones débiles. Esto es, tenemos muchas interacciones, incluyendo las electromagnéticas. Podemos discriminarlas de varias maneras, pero

también podemos seleccionar estadísticamente una clase de interacciones débiles precisamente como aquellas en que la paridad no se conserva. Esto nos daría posiblemente un camino hacia investigaciones profundas acerca de la materia y la antimateria. Para hacer el análisis estadístico se necesitan todavía más electrones por pulso que los que PEGGY II podría generar. Si tal proyecto fuera a tener éxito, deberíamos empezar por usar corrientes neutrales débiles como una herramienta manipulable para buscar algo más. Así, daríamos el próximo paso hacia el realismo de tales corrientes.

LOS TIEMPOS CAMBIANTES

Si bien realismos y antirrealismos son parte de la filosofía de la ciencia desde la prehistoria griega, nuestras versiones presentes vienen de debates sobre el atomismo que tenían lugar al final del siglo XIX. El antirrealismo acerca de los átomos era en parte una cuestión de física: los energetistas pensaban que la energía estaba en el fondo de todo, no pedazos de materia. Estaba también relacionado con el positivismo de Comte, Mach, Pearson e incluso J.S. Mill. El joven asociado de Mill, Alexander Bain, enuncia esta idea de un manera típica en su texto, *Logic, Deductive and Inductive*. No tiene nada de reprobable que escribiera en 1870:

> Algunas hipótesis consisten en suposiciones concernientes a la estructura diminuta y la operación de los cuerpos. Debido a la naturaleza del caso, estas suposiciones nunca pueden ser probadas por medios directos. Su mérito es su adecuación para expresar fenómenos. Son ficciones representacionales.

"Todas las afirmaciones concernientes a la estructura última de las partículas de la materia", continúa Bain, "son y deberán ser siempre hipotéticas..." La teoría cinética del calor, nos dice, "sirve a una función intelectual importante". Pero no podemos considerarla una descripción verdadera del mundo. Es una ficción representacional.

Bain estaba en lo cierto hace un siglo. Las suposiciones acerca de la estructura minúscula de la materia no podían probarse entonces. La única prueba podía ser indirecta, a saber, que las hipótesis aparentemente proporcionan una explicación y ayudan a hacer buenas predicciones. No es necesario que tales inferencias generen convicción en el filósofo inclinado al instrumentalismo o algún otro tipo de idealismo.

La situación es muy similar a la epistemología del siglo XVII. En esa época, el conocimiento se pensaba como una representación correcta. Pero

entonces uno nunca podía salirse de las representaciones para estar seguro de que correspondían al mundo. Cada prueba de una representación no es más que otra representación. "Nada es tan parecido a una idea como otra idea", como decía el obispo Berkeley. Tratar de argüir en favor del realismo científico en el nivel de teoría, prueba, explicación, éxito predictivo, convergencia de teorías y así sucesivamente, es encerrarse en el mundo de las representaciones. No es una sorpresa que el antirrealismo científico esté siempre en la carrera. Es una variante de la "teoría del conocimiento del espectador".

Los científicos, a diferencia de los filósofos, se convirtieron al realismo acerca de los átomos alrededor de 1910. A pesar del cambio de clima, algunas variedades antirrealistas de instrumentalistas y ficcionalistas permanecieron como alternativas filosóficas fuertes en 1910 y en 1930. Esto es lo que la historia de la filosofía nos enseña. La lección es: hay que pensar en la práctica, no en la teoría. El antirrealismo acerca de los átomos era entendible cuando Bain escribió hace un siglo. El antirrealismo acerca de *cualquier* ente submicroscópico era una doctrina aceptable en aquellos tiempos. Las cosas son diferentes ahora. La prueba "directa" de los electrones y similares es nuestra habilidad de manipularlos utilizando propiedades causales de bajo nivel bien entendidas. Por supuesto, no sostengo que la realidad está constituida por la capacidad humana de manipular. La habilidad de Millikan de determinar la carga del electrón hizo algo muy importante para la idea de los electrones: más, creo yo, que la teoría de Lorentz del electrón. La determinación de la carga de algo le hace a uno creer en ese algo más que su postulación para explicar algo más. Millikan obtiene la carga del electrón: mejor aún. En 1925, Uhlenbeck y Goudsmit le atribuyen a los electrones un movimiento angular, y resuelven así, de una manera brillante, una serie de problemas. Los electrones, después de esto, tienen espín. Lo que nos convence es que podemos atribuirles un espín a los electrones, polarizarlos y hacer que se dispersen en diferentes proporciones.

Seguramente hay muchas entidades y procesos que los seres humanos nunca van a conocer. Tal vez haya muchos que en principio nunca podremos conocer. La realidad es más grande que nosotros. El mejor tipo de evidencia de que tenemos este tipo de entendimiento es que podemos construir máquinas que trabajarán relativamente sin problemas, utilizando éste o aquel nexo causal. Así, la ingeniería, no la teorización, es la mejor prueba del realismo científico acerca de las entidades. Mi ataque contra el antirrealismo científico es análogo al ataque de Marx contra el idealismo de su tiempo. Ambos dicen que lo importante no es entender el mundo, sino cambiarlo. Tal vez haya algunas entidades que en teoría sólo podemos conocer a tra-

vés de teoría (los hoyos negros). Entonces nuestra evidencia es como la de Lorentz. Tal vez hay entidades que sólo mediremos y nunca usaremos. El argumento experimental en favor del realismo no dice que sólo los objetos del experimentador existen.

Debo confesar cierto escepticismo acerca de los hoyos negros, por ejemplo. Puede haber otra representación del universo igualmente consistente con los fenómenos, en la que los hoyos negros queden fuera. He heredado de Leibniz una repulsión hacia los poderes ocultos. Recordemos cómo criticaba la gravedad newtoniana por ser oculta. Nos enseñó bastante. Maxwell hizo sus ondas electromagnéticas en el éter y Hertz confirmó el éter con la demostración de la existencia de las ondas de radio. Michelson encontró la manera de interactuar con el éter. Pensaba que su experimento confirmaba la teoría del arrastre del éter de Stokes, pero al final fue una de las muchas cosas que hicieron que el éter falleciera. Los escépticos como yo tienen una pequeña inducción. Las entidades teóricas que no terminan siendo manipulados terminan, por lo general, siendo tremendos errores.[3]

[3] En *supra*, p. 296, los bosones débiles neutrales se usan como ejemplo de entidades puramente hipotéticas. En enero de 1983, el CERN anunció la observación de la primera de tales partículas en el decaimiento de protón-antiprotón a 540 GeV.

LECTURAS ADICIONALES

Puede consultarse una bibliografía comentada de 95 títulos al final de mi antología sobre filosofía de la ciencia poskuhniana:

(1) Ian Hacking (comp.), *Scientific Revolutions*, Oxford, 1982.

No reproduciré aquí esa lista, ni incluiré los libros que ya hemos discutido extensamente. Para los capítulos de la parte A, "Representar", ofrezco algunos textos clásicos, algunas antologías útiles y escritos recientes. Algunas cuantas antologías están numeradas con el fin de facilitar su referencia. Puesto que sólo unos pocos de los temas de la parte B, "Intervenir", han sido bien discutidos por los filósofos, no ofrezco una división capítulo por capítulo, sino que dirijo la atención hacia unos cuantos ensayos que me parecen útiles.

INTRODUCCIÓN: LA RACIONALIDAD

El lugar ideal para empezar es, desde luego:

T.S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, 1962, 2a. ed., con una posdata, 1969. [Versión en castellano: *La estructura de las revoluciones científicas*, trad. Agustín Contín, Fondo de Cultura Económica, México, 1971.]

Los ensayos de Kuhn sobre temas relacionados se encuentran en:

——, *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Thought and Change*, Chicago, 1977.

——, "Commensurability, comparability, communicability", *PSA 1982*, vol. 2.

——, "What are Scientific Revolutions?", Occasional Paper no. 18, Center for Cognitive Science, Massachusetts Institute of Technology. [Versión en castellano incluida en el volumen *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*, trad. José Romo Feito, Paidós, Barcelona, 1989.]

Una antología excelente de ensayos sobre las ideas de Kuhn es:

(2) Gary Gutting (comp.), *Paradigms and Paradoxes*, Notre Dame, 1980.

A continuación sugiero tres libros y una colección de ensayos sobre la racionalidad en la ciencia.

Larry Laudan, *Progress and its Problems*, California, 1977.
W. Newton-Smith, *The Rationality of Science*, Londres, 1981. [Versión en castellano: *La racionalidad de la ciencia*, trad. Marco Aurelio Galmarini, Paidós, Barcelona, 1987.]
Husain Sarkar, *A Theory of Method*, California, 1983.
(3) Martin Hollis y Steven Lukes (comps.), *Rationality and Relativism*, Oxford, 1982.

Deberían consultarse además los trabajos relacionados con Imre Lakatos, listados para el capítulo 8 más adelante. Un estudio extenso de la historia de la idea de revolución científica es:

I.B. Cohen, *Revolution in Science: The History, Analysis and Significance of a Concept and a Name*, Cambridge, Mass., 1984.

1 ¿QUÉ ES EL REALISMO CIENTÍFICO?

Para un panorama general excelente del debate actual, consúltese:

(4) Jarret Laplin (comp.), *Essays on Scientific Realism*, Notre Dame, 1983.

Existen hoy numerosas clasificaciones de realismos científicos. Una de ellas es:

Paul Horwich, "Three forms of realism", *Synthese*, no. 52, 1982, pp. 181–201.

2 CONSTRUIR Y CAUSAR

Además de *Sense and Sensibilia*, que se cita en el texto, pueden encontrarse otros ejemplos del tratamiento de Austin de palabras inglesas en:

J.L. Austin, *Philosophical Papers*, 3a. ed., Oxford, 1979.

A pesar de la influencia inicial de esta obra, lamento decir que casi nadie practica hoy ese tipo de filosofía. Austin tenía además un programa

más especulativo que ha sido adoptado por algunos filósofos influyentes en Alemania y, en menor medida, en los Estados Unidos:

——, *How to Do Things with Words*, Oxford, 1963. [Versión en castellano: *¿Cómo hacer cosas con palabras?*, trad. Genaro Carrió, y Eduardo Rabossi, Paidós, Barcelona, 1971.]

Para conocer algunas críticas fuertes contra lo que dice Austin sobre la palabra "real", véase:

Jonathan Bennett, "Real", en K. Fann (comp.), *J.L. Austin, A Symposium*, Londres, 1969.

El texto introductorio del propio Smart es:

J.J.C. Smart, *Between Science and Philosophy: An Introduction to the Philosophy of Science*, Nueva York, 1968.

No está claro que el causalismo de Cartwright tenga antecedentes precisos, pero ella reconoce deudas importantes con el texto antirrealista clásico, publicado originalmente en francés en 1906:

Pierre Duhem, *The Aim and Structure of Physical Theory*, Princeton, 1954.

En una nota polémica hasta la fecha inédita que recién vi, Bas van Fraassen sostiene que el causalismo tiene sus raíces en la búsqueda de Newton de *vera causa* (causas verdaderas) combinada con la famosa afirmación *hypotheses non fingo* (no formulo ni dependo de hipótesis).

3 El positivismo

Como se ha indicado en el texto, muchos ubican el origen del espíritu positivista en Hume e incluso antes. Sin embargo, el término es de Comte. Cualquier biblioteca universitaria tendrá en su catálogo varios libros de selecciones traducidas de Comte. Una de las figuras que más a menudo se cita como ejemplo de positivista es Ernst Mach. Se trata de un caso todavía en discusión. Paul Feyerabend contribuirá con un largo ensayo para un volumen conmemorativo de Grover Maxwell (se espera que aparezca en 1984 publicado por la University of Minnesota Press) en el cual sostiene con firmeza que Mach no era un positivista. Una lectura de Mach bien podría comenzar por:

Ernst Mach, *The Analysis of Sensations*, Chicago, 1887 y numerosas reimpresiones, con varios cambios en el título.

Un clásico inequívoco del positivismo es:

Karl Pearson, *The Grammar of Science*, Londres, en ediciones numerosas y sustancialmente alteradas o aumentadas, de 1897 en adelante.

La crítica clásica del positivismo en esa etapa de su evolución señala a Pearson como el único positivista cuyo buen sentido empírico lo ayuda a no caer en los excesos de sus semejantes:

V.I. Lenin, *Materialism and Empirio-Criticism*, Nueva York, 1923.

La mejor antología sobre positivismo lógico es:

A.J. Ayer (comp.), *Logical Positivism*, Nueva York, 1959. [Versión en castellano: *El positivismo lógico*, trad. L. Aldama *et al.*, Fondo de Cultura Económica, México, 1965.]

4 EL PRAGMATISMO

El estudio histórico más interesante del pragmatismo es:

Bruce Kuklick, *The Rise of American Philosophy: Cambridge, Massachusetts, 1860–1930*, New Haven, 1977.

Existen muchas antologías de Peirce, James y Dewey. También se puede consultar una nueva y mejor edición de los escritos de Peirce y al menos dos índices de sus obras se encuentran disponibles para un público cada vez mayor por computadora. Cualquier antología reconocida proveerá, sin embargo, una explicación bastante buena de su filosofía para cualquiera, excepto, el especialista. En mi opinión, sus ensayos son tan populares y a la vez tan profundos que mejoran releyéndolos más o menos cada dos años.

5 LA INCONMENSURABILIDAD

El debate sobre la inconmensurabilidad se originó en discusiones tanto de Feyerabend como de Kuhn:

Paul Feyerabend, "On the Meaning of Scientific Terms", *The Journal of Philosophy*, no. 62, 1965, pp. 266–274.

——, "Problems of empiricism", en R. Colodny (comp.), *Beyond the Edge of Certainty*, Englewood Cliffs, N.J., 1965.
——, *Against Method*, Londres, 1977. [Versión en castellano: *Contra el método*, Ariel, Barcelona, 1974.]
——, *Science in a Free Society*, Londres, 1979. [Versión en castellano: *Ciencia en una sociedad libre*, trad. Alberto Elena, Siglo XXI, Madrid, 1981.]

Entre las muchas discusiones sobre la inconmensurabilidad, son de especial interés:

Dudley Shapere, "The structure of scientific revolutions", *The Philosophical Review*, no. 73, 1964, pp. 383–394. Reimpreso en (2).
"Meaning and Scientific Change", en R. Colodny (comp.), *Mind and Cosmos: Essays in Contemporary Science and Philosophy*, Pittsburgh, 1966, pp. 41–85. Reimpreso en (1).
Hartrey Field, "Theory change and the indeterminacy of reference", *The Journal of Philosophy*, no. 70, 1973, pp. 462–481.
G. Pearce y P. Maynard (comps.), *Conceptual Change*, Dordrecht, 1973.
Arthur Fine, "How to Compare Theories: Reference and Change", *Noûs*, no. 9, 1975, pp. 17–32.
Michael Levine, "On theory-change and meaning-change", *Philosophy of Science*, no. 46, 1979.

6 La referencia y 7 El realismo interno

Muchos de los artículos en (4) contienen estudios útiles o referencias a Putnam, cuyas concepciones acerca del realismo han evolucionado notablemente en el curso del tiempo. Es importante leer sus artículos en orden cronológico, así como sus libros.

Hilary Putnam, *Mind, Language and Reality; Philosophical Papers*, vol. 2, Cambridge, 1979.
——, *Meaning and the Moral Sciences*, Londres, 1978. [Versión en castellano: *El significado y las ciencias morales*, trad. Ana Isabel Stellino, Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM, México, 1991.]
——, *History, Truth and Reason*, Cambridge, 1981.

Nelson Goodman ha propuesto tiempo atrás algunos puntos de vista que de diferentes maneras se sobreponen a los de Putnam. Goodman los resume en:

Nelson Goodman, *Ways of Worldmaking*, Indianápolis, 1978.

Putnam ofrece una presentación más formal del argumento sobre el realismo de Löwenheim-Skolem en:

Putnam, "Models and reality", *The Journal of Symbolic Logic*, no. 45, 1980, pp. 464–482.

Pronto aparecerán numerosas discusiones de este argumento.

G.R. Merrill, "The Model-Theoretic Argument against Realism", *Philosophy of Science*, no. 47, 1980, pp. 69–81.

J.L. Koethe, "The Stability of Reference over Time", *Noûs*, no. 16, 1982, pp. 243–252.

M. Devitt, "Putnam on Realism, a Critical Study of Hilary Putnam's *Meaning and the Moral Sciences*", *Noûs*, vol. XVII, no. 2, 1983, pp. 291–301.

David Lewis, "New Work for a Theory of Universals", *The Australasian Journal of Philosophy*, vol. 61, no. 4, 1983, pp. 343–377.

8 UN SUSTITUTO DE LA VERDAD

Muchos de los puntos de vista de Lakatos sobre la ciencia están prefigurados en un diálogo muy original y entretenido sobre la naturaleza de las matemáticas.

Imre Lakatos, *Proofs and Refutations: The Logic of Mathematical Discovery*, Cambridge, 1976.

En 1965 Lakatos organizó una serie de conferencias en las que invitó a Popper, Carnap, Kuhn y muchos otros. El tercero y más interesante volumen de estas conferencias contiene su contribución más importante a la filosofía de la ciencia.

I. Lakatos y A. Musgrave (comps.), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge, 1970.

Dos volúmenes conmemorativos que discuten la obra de Lakatos y sus aplicaciones son:

Colin Howson (comp.), *Method and Appraisal in the Physical Sciences*, Cambridge, 1976.

R.S. Cohen *et al.* (comps.), *Essays in Memory of Imre Lakatos*, Dordrecht, 1976.

INTERMEDIO: LO REAL Y LAS REPRESENTACIONES

Puesto que ninguna bibliografía se ajusta al tema del intermedio, aprovecharé la oportunidad para dirigir la atención hacia dos escuelas interesantes que desarrollan estudios sociales de la ciencia para extraer conclusiones filosóficas. Podemos encontrar en Edimburgo la afirmación muy fuerte de que casi toda la realidad científica es una construcción social. El artículo "Relativism, rationalism and the sociology of knowledge", incluido en (3), proporciona una rica lista de fuentes. Algunas de las obras más importantes de este grupo son:

Barry Barnes, *Scientific Knowledge and Sociological Theory*, Londres, 1974.

——, *Interests and the Growth of Knowledge*, Londres, 1977.

David Bloor, *Knowledge and Social Imagery*, Londres, 1976.

Algunos puntos de vista favorables a este grupo se encuentran en el segundo capítulo de un conjunto muy innovador de ensayos:

Mary Hesse, *Revolutions and Reconstructions in the Philosophy of Science*, Brighton, 1980.

En Bath encontramos otro grupo de estudiosos de orientación sociológica que ofrecen valiosas contribuciones para la segunda parte de este libro, "La intervención", pues ellos han realizado estudios internos de diversos trabajos experimentales, desde la parapsicología hasta la física de los rayos láser.

H.M. Collins y T.J. Pinch, *Frames of Meaning: The Social Construction of Extraordinary Science*, Londres, 1981.

H.M. Collins, "The TEA Set: Tacit Knowledge and Scientific Networks", *Science Studies*, no. 4, 1974, pp. 165–186.

H.M. Collins y T.G. Harrison, "Building a TEA Laser: the Caprices of Communication", *Social Studies of Science*, no. 5, 1975, pp. 441–450.

David Gooding, "A Convergence of Opinion on the Divergence of Lines: Faraday's and Thomson's Discussion of Diamagnetism", *Notes and Records of the Royal Society of London*, no. 36, 1982, pp. 243–259.

H.M. Collins, "Son of Seven Sexes: the Social Destruction of a Physical Phenomenon", *Social Studies of Science*, vol II, 1981, pp. 33–62.

El último artículo describe el rechazo de algunos resultados experimentales en la investigación de ondas gravitacionales.

9-16 INTERVENIR

Para un análisis del trabajo de Millikan sobre el electrón, véase:

G. Holton, *The Scientific Imagination*, Cambridge, 1978, capítulo 2.

Holton sostiene que el uso de los datos por parte de Millikan está fuertemente influido por expectativas teóricas. Para un resumen de esto y de aspectos relacionados de la obra de Holton, véase:

"Thematic presuppositions and the direction of scientific advance", en A.F. Heath (comp.), *Scientific Explanation*, Oxford, 1981, pp. 1–27.

Este volumen contiene además una defensa fuerte de la posición del teórico por A. Salam (*cfr.* p. 296, antes): "The Nature of the 'Ultimate' Explanation in Physics", *ibid.*, pp. 28–35. He aquí un caso histórico de un experimento crucial, junto con una exposición detallada del experimento y una discusión filosófica de los "buenos" experimentos:

Allan Franklin y Howard Smokler, "Justification of a 'Crucial' Experiment: Parity Nonconservation", *American Journal of Physics*, no. 49, 1981, pp. 109–111.

Allan Franklin, "The Discovery and Nondiscovery of Parity Nonconservation", *Studies in History and Philosophy of Science*, no. 10, 1979, pp. 201–257.

——, "What Makes a Good Experiment?", *British Journal for the Philosophy of Science*, no. 32, 1981, pp. 367–374.

Hay pocos libros que estudien historias de experimentos con detalle. Uno de los mejores trata sobre el descubrimiento de los isótopos por E. Rutherford y F. Soddy. El mismo autor tiene dos artículos interesantes sobre dos diferentes maneras en que una ciencia puede avanzar, por un tiempo, en la dirección equivocada.

Thaddeus Trenn, *The Self-Splitting Atom*, Londres, 1975.

——, "Thoruranium (U-236) as the Extinct Natural Parent of Thorium: the Premature Falsification of an Essentially Incorrect Theory", *Annals of Science*, no. 35, 1978, pp. 581–597.

——, "The Phenomenon of Aggregate Recoil: the Premature Acceptance of an Essentially Incorrect Theory", *Annals of Science*, no. 7, 1980, pp. 81–100.

Una exposición minuciosamente detallada del experimento de Michelson-Morley se encuentra en:

Loyd S. Swenson, *The Etherial Aether: A History of the Michelson-Morley Experiment*, Austin, Tex., 1972.

Sobre causas, modelos y aproximaciones, véanse:

R. Harré, *Causal Powers: A Theory of Natural Necessity*, Oxford, 1975.
M. Hesse, *Models and Analogies in Science*, Londres, 1963.

Además de las obras de Hesse citadas antes en las pp. 190 y 311, existen dos libros de estos autores que pueden ser útiles:

R. Harré, *The Philosophers of Science: An Introductory Survey*, Oxford, 1972.
M. Hesse, *Forces and Fields: The Concept of Action at a Distance in the History of Physics*, Westport, Conn., 1970.

El investigador más reciente de la historia y filosofía de la nueva física experimental ha publicado los siguientes artículos. El primero está relacionado con mi análisis sobre los muones y mesones (pp. 110–113, antes) y el segundo con corrientes neutrales débiles (capítulo 16):

Peter Galison, "The Discovery of the Muon and the Failed Revolution against Quantum Electrodynamics", *Centaurus*, abril, 1983.
——, "How the First Neutral Current Experiments Ended", *Reviews of Modern Physics*, abril, 1983.
——, "Einstein's Experiment, the g-Factor, and Theoretical Predispositions", *Historical Studies in the Physical Sciences*, no. 12, 1982, pp. 285–323.

ÍNDICE ANALÍTICO

Abbe, E., 216, 223–226
abducción, 72
aberración
  astronómica, 284
  óptica, 221–223
aceptación, 33, 71, 83
ácidos, clases de, 107–109
adecuación, empírica, 71
Adorno, T., 63
Airy, G.B., 240
Alejandro, 159
Ampère, A.-M., 123, 189s
anarco-racionalismo, 32
Andersen, H.C., 271
Anderson, C.D., 111s, 129
anomalía, 26. 142, 272
anserífero, 92
antirrealismo, definición, 39
antropología, *Antropología*, 158–159, 167
aproximaciones, 247
argumento de la causa común del realismo, 75, 231
argumento de los gatos y las cerezas (Putnam), 125–129
argumento del accidente cósmico, 73–75, 231
argumento del éxito de la ciencia en favor del realismo, 73, 75–78
Aristarco, 263
Aristóteles, 22, 34, 78, 104, 159, 162
aristotélico, 132, 177, 279
arseniuro de galio (GaAs), 297–300
atomismo, 48, 54, 88, 167–169, 302
Austin, J.L., 51s, 128, 306, 307
Avogadro, ley de, 189, 281,
  número de, 49, 75
Ayer, A.J., 35, 62

Babbage, C., 263
Bacon, F., 177s, 181, 186, 196, 249, 251, 275–283, 289,
Bain, A., 302
Bardeen, J., *et al.* (teoría BCS), 257s
Bartholin, E., 184
Bear, 100
Becquerel, A.-C., 186
Bell, A.G., 286
Bell (J.), desigualdad de, 87
Bennett, J., 162, 307
Bergman, G., 217–218
beriberi, 142–143
Berkeley, G., 54, 119–121, 157, 170, 218, 238, 303
Bernard, C., 202
Berthollet, C.-L., 109
Berzelius, J.J., 28
Bethe, H.A., 111, 189, 251
biblioteca borgesiana, 248, 255
Bichat, X., 222, 228, 238
Biot, J.-B., 109
Blackett, P.M.S., 112
Bohr, N., 88, 103, 105s, 112, 130, 151
bosones, 294, 296, 301, 304n
Boyd, R., 76
Bradbury, S., 215, 223

radley, F.M., 189n
ragg, W.L., 261
raithwaite, R.B., 244
road, C.D., 55
rønsted, J.M., 107s
uchwald, J.Z., 253s

ilculo, 243
ilor, 91, 108
radiante, 204–207, 239
ilórico, 91, 108s
ambio gestáltico (Kuhn), 30, 88
ampbell, N.R., 244
antor, G., 126
arnap, R., 21–25, 62, 138, 180, 182, 198, 310
arnot, S., 192
artwright, N., 47, 48, 55–59, 73, 87, 245–248, 307
usa,
como conjunción constante, 66–68
y realidad, 61, 87, 173
usalismo, 54–56
avendish, H., 263–265, 267, 271
encia normal, 25s, 76, 90, 140
asificación, 132
oro,
peso atómico del, 27, 281s
como elemento, 28, 107
aossos, 166
eficiente intelectual (IQ), 58
hen, E.R. y Taylor, B.N., 269, 274
hen, I.J., 27, 306
incidencia, argumento de la, 231
llins, H.M., 311
mparación de teorías, 31–34
mte, A., 62–72, 119, 198, 252, 302, 307
ndorcet, M.J.-A.-N. de C., 65
njuntos, 126s
notación, 98
nstante de Planck, 269
nstantes de la naturaleza, 130, 260, 263s, 268
construcciones, lógicas, 46, 69
contracción de FitzGerald, 288
Copérnico, N., 27, 43, 87, 95, 151, 167
corrientes neutrales débiles, 295–302, 313
Coulomb, C.-A., 124
Craig, W., 70
Crombie, A.C., 153
Crowe, A.C., *et al*, 130
cubo de Rubik, 118
cuerpos densos, 229–231
Curie, M., 254

Chimborazo, 265
chimpancés, 164
Chomsky, N., 54

dada, 32
Dalton, J., 107, 182, 280
Darwin, G., 182
Davidson, D., 95s
Davy, H., 28, 107, 180–183, 190, 192, 239
definición del microscopio, 224s
Defoe, D., 251
Delfos, 165
demarcación, 146
Demócrito, 167–169
denotación, 98
Descartes, R., 159
Devitt, M., 310
Dewey, J., 83s, 157, 219, 308
Dicke, R.H., 212
difracción, 179, 215, 220, 223–228
Dirac, P.A., 267
Dolland, J., 223
Domodosala, D., 172
Duhem, P., 140, 171, 216, 248s, 252, 268, 269, 280–282
Dupré, J., 113

Eddington, A.S., 117
efecto Compton, 253s
efecto Doppler, 140, 284

efecto fotoeléctrico, 74, 186, 253, 272
efecto Josephson, 253, 257s, 270, 273
efecto Zeeman, 253
"efectos", 253s, 271s
Einstein, A., 49, 73s, 95, 120, 151, 202, 265s, 271, 283, 289
Eisenhart, C., 263
electrodinámica cuántica, 111, 269, 295–304, 313
electrón(es)
carga del, 40, 264–267, 291, 300s
espín del, 106, 303
masa del, 106, 291, 300s
nombrar el, 105s
polarizado, 294–302
rociar con, 41, 56
empirismo
constructivo, 57, 61s, 71, 217
lógico, 63
entidades teóricas, 39–41, 45, 57–59, 68s, 217
epistemología, 20, 137
escepticismo, 168s
esencialismo, 104
Espagnat, B. d', 54, 87
espato de Islandia, 184, 297
especulación, 239, 242
espíritu maligno cartesiano del microscopio, 233
estereotipo, 100–103
estilos del razonamiento científico, 77, 93, 152s
éter, electromagnético, 69, 202, 265s, 283–289, 304
Euclides, 139, 153, 168
Everitt, C.W.F., 190, 242, 253
experimento de Michelson-Morley, 202s, 283–289
experimentos
cruciales, 31, 95, 138s, 196, 266, 275, 278–280, 282
repetidos, 259
explicación, 61, 67s, 71
inferencia hacia la mejor, 71–74, 81, 231, 301
extensión, 98, 102
puntos de la, 103, 109, 124

Fairbank, W., 41s, 51
falsabilidad, 21, 61, 139s, 171
familia Leakey, 163
Faraday, 53s, 190
efecto, 239–242, 247, 253, 257
Feigl, H., 62
fenómenos, 76, 121, 133, 190, 245s, 249–260
Fermi, E., 112, 210
fermiones, 210
Feyerabend, P., 32, 35, 89s, 93, 96, 146, 152–153, 201, 203s, 216, 277, 307, 308
Field, H., 309
Fine, A., 309
Fizeau, H., 264, 265s, 271, 287
Flaubert, G., 44
fotón, 48, 74, 77, 186
Franklin, A., 312
Franklin, B., 124, 134
Frege, B., 97s, 102, 124s
Fresnel, A.-J., 184s, 284–287
Freud, S., 43
Froome, K.D. y Essen, L., 260
fuerza
débil y fuerte, 110, 295s
magnética, líneas de, 53, 56
funcionalismo, 272s

Gage, S.H., 216, 225
Galileo, G., 88, 200, 216, 261s
Galison, P., 313
Gardner, M., 49
Gauss, C.F., 262
gene, primera fotografía del, 234
Gerlach, W., 106
gliptodonte, 97–99, 114, 129
glóbulos rojos, 229

Gödel, K., 62
Gooding, D., 311
Goodman, N., 130, 164, 309s
Goudsmit, S.A., 106, 303
Gould, S.J., 58
gravedad, 66s, 72, 110, 141s, 179
  ondas de, 260
gusanos caníbales, 260

Hall, E.H., 253–258, 261, 263
Hanson, N.R., 48, 200, 207
Harré, R., 313
Hawking, S., 247
Hegel, G.W.F., 77, 80, 85, 121, 138, 144, 148, 172s, 250
Heisenberg, W., 112
Heitler, W.H., 111, 189
Helmholtz, H., 73, 285
Hempel, C.G., 62, 68
Herschel, C., 208
Herschel, J., 185
Herschel, W., 204–207, 208s, 239, 243, 261s
Hertz, H., 170–172, 284, 304
Hesse, M., 190, 311, 313
heurística, 141
Hilbert, D., 277
hipótesis auxiliares, 140s, 282
historia, interna y externa, 147–149
Holton, G., 147, 312
homo depictor, 159, 161s, 163, 164
Hooke, R., 177–179, 184, 221, 226
Horwich, P., 306
hoyos negros, 304
Hume, D., 22, 54, 57, 61s, 64, 66, 68–72, 139, 251, 307
Husserl, E., 250
Huygens, C., 222, 224, 265

idealismo, 131–134, 199, 302
  objetivo, 80
  trascendental, 120–122, 131–134
imagen de ciencia, 21–23, 170
inconmensurabilidad, 31, 33, 35, 87–96, 118, 157, 209
indexicales, 130, 163
inducción, 21, 67, 81s, 139, 180s, 190, 276
infrarrojo, 205–207
inmaterialismo, 54
instrumentalismo, 84–96, 302
invención, 190–192

James, W., 79, 82–85, 138, 161, 308
Jansky, K., 187s
Jardine, N., 251
Jones, H., 193
Jung, C., 58
justificación y descubrimiento, 24

Kant, I., 27, 54, 74, 77, 80, 115, 119–124, 149, 153, 159–161, 189, 234, 237
Kekule, F.A., 229
Kelvin (W. Thomson), 192, 240–242, 270–272, 288
Kepler, J., 140, 251
Kuhn, T.S., 21–32, 76, 88–96, 133–138, 140, 142, 152, 167, 171s, 180, 243, 246, 262, 270–273, 305, 306, 308, 310

Lagrange, J.-L., 248, 277
Lakatos, I., 33, 35, 77, 81, 136–154, 200s, 225, 279–283, 289, 306, 310
Lamb, W., 48, 77
Lambert, J.H., 250
Laplace, P.S. de, 91–94, 109, 123, 243s
Laudan, L., 33–36, 76, 153, 306
Lavoisier, A.-L., 27, 107–109, 151
Leeuwenhoek, A., 221, 226
Leibiniz, 54, 66, 101s, 120s, 140, 178, 248, 283
lenguaje
  orígenes del, 162–164
  y ciencia, 31–33, 63–65, 70, 94–97, 108
Lenin, V.I., 308

Leucipo, 167
Lewis, D., 310
Lewis, G.N., 107s
ley de Wiedemann-Franz, 193
leyes de la naturaleza, 67s, 247
leyes fenomenológicas, 246, 250s
Liebig, J., 181s, 194
linfoma de Burkitt, 143
Locke, J., 119, 121, 158, 160s, 173
London, F. y H., 179
Lorentz, H.A., 88, 102–104, 106, 241, 262, 287, 289, 303s
Lowry, J.M., 107–108
Lucrecio, 168
Lysenko, T.D., 42

Mach, E., 198, 302, 307, 308
Malus, E.L., 185
Manson, P., 143
máquina de vapor, 191s
Marx, K., 42, 58s, 138, 146, 303
Maxwell, G., 198s, 217s
Maxwell, J.C., 48, 161, 190, 239–241, 253s, 284s, 304
Medea, 256
medición, 26, 81, 203, 261–274
Melloni, M., 206, 243
Mellor, D.H., 105
mesón, 110–113, 118, 129
mesotrón, 111
metafísica, 20, 58, 62–68, 72, 104, 137, 170
método hipotético-deductivo, 123, 152s, 171
Michelson, A.A., 202s, 264, 266, 270, 283, 285–289
Mill, J.S., 98, 250, 255, 302
Miller, D.C., 202, 289
Millikan, J.A., 40–42, 88, 103s, 106, 112, 264–267, 291s, 300, 303, 312
Montague, R., 128
Moore, G.E., 127
Morley, E.W., 266, 283, 287, 289
Mott, N., 193, 245
movimiento browniano, 49, 75, 186
muón, 110–113, 118, 129, 269, 313

Nagel, 89–91, 95
Neddermeyer, S.H., 111, 129
Neurath, O., 62
neutrinos, 199, 211
Newcomb, S., 286
Newcomen, T., 191
Newton, I., 54, 66–69, 111, 120, 141, 179, 184, 222, 239, 243s, 248, 252, 265, 283
newtoniano, 91, 95, 120s, 124, 141, 185, 205s, 240, 252, 265–267
Newton-Smith, W., 46, 76, 306
Nietzsche, 19, 35, 80
niobio, 41
nominalismo, 131–135, 157
noúmenos, 121, 189, 250
Nozick, R., 130

objetividad, 31s, 81s, 116, 120, 144
observación
  como habilidad, 208
  dignas de atención, 183s, 196
  y experimento, 202–204, 259
  y teoría, 23, 70, 196, 198, 203–207, 210–213
Øersted, H.C., 190, 239
Olduvai, desfiladero de, 161, 163
oraciones observacionales, 202–204
Owen, R., 97, 100

palabras ávidas de nombres, 52, 59
palabras-pantalón, 52, 59
Paracelso, 92–93
paradigma, 28s, 88, 137
paridad, 295s
Particle Properties Data Booklet, 270
Pascal, B., 30
Pasteur, B., 142s
Pearson, K., 270, 272, 302, 308
PEGGY II, 295–302

Peirce, C.S., 73, 77–84, 135, 138, 144, 152, 268–269
Penzias, A., 187s
Perrin, J., 49, 186
Platón, 22, 149, 168, 178
polarización, 184–186, 240
  electrones de, 295–300
  microscopio de, 227
Polya, G., 141
Popper, K., 21–25, 33, 62s, 78, 82, 138–140, 142, 146, 148s, 171–173, 180, 183, 188, 192, 271s, 289, 310
positivismo, 42, 44, 61–78, 85, 118s, 196–199, 215, 250, 272
  lógico, 62, 171, 217
positrón, 41, 56, 207s
Powers, H., 215
pragmatismo, 67, 77, 79–85, 116–122, 144
Premack, D., 164
presocráticos, 167s
programas de investigación, 141–154
Prout, W., 145, 280–282, 289
Putnam, H., 35s, 57, 76, 81, 83, 84, 87, 96–135, 144, 153, 157, 309, 310

quarks, 40–42, 45, 106, 260
Quate, C.F., 235
Quine, W. v. O., 63, 93, 124s, 195, 209s

racionalidad, 19–36, 135–139, 159–161
Ramsey, F.P., 70
Rayleigh, J.W., 287s
"real", 51s, 59, 79s, 163, 169s, 173s,
realidad, 158
realismo (científico)
  definición, 39
  entidades y teorías, 39, 45, 56, 291s
  interno y externo, 80, 115–135, 157
reconstrucción racional, 150s
reduccionismo, 69s, 197
referencia, 97–135
refracción doble, 184
regla de Mathiessen, 193
Reichenbach, H., 24, 62, 75
Reid, T., 67, 252s
reificación, 58
Reingold, N., 286
representación, 157–174
revoluciones científicas, 25–32, 90, 138
Ritter, J.W., 207
Roemer, O., 265
Rorty, R., 83s, 164
Rowland, H.A., 253
Rumford (B. Thompson), 109
Russell, B., 45, 69
Rutherford, E., 104, 145, 282
Ryle, G., 34

Salam, A., 296, 312
Salmon, W.C., 75
Sarkar, H., 306
Saussure, F. de, 98
Schlick, M., 62, 64, 68
Schrödinger, E., 104
Sellars, W., 123, 170
semiótica, 82
sentido, 97s
Shakespeare, W., 216
Shapere, D., 96, 199, 211, 213, 228, 309
significados en filosofía de la ciencia, 21s, 31s, 51, 63–65, 94–97, 102–105, 107–108, 113
similitud, 164–166
síndrome del shock tóxico, 55
síntesis de Fourier, 225s
Skaer, R., 51, 230
Skolem, T., 126
Slayter, E.M., 219
Smart, J.J.C., 53s, 59, 74, 307
Sneddon, I., 245
Sócrates, 167
Soddy, F., 145, 282
sol
  rotación interior del, 211–213
  temperatura del núcleo del, 212–213
Southern, J., 191
Stent, G., 234

Stern, O., 106
Stevenson, E.C., 112
Stokes, G.G., 140, 284–288, 304
Stoney, J., 106, 114
Strawson, P.F., 117
Street, J.C., 112
superconductividad, 41, 193, 257
Swenson, L.S., 313

Tales, 27
telescopio, 216
teología, 65–68
teorema de Löwenheim-Skolem, 125–128, 309
teoría, cargado de, 199s
teoría de la enfermedad por gérmenes [*germ theory of disease*], 142s
teoría del conocimiento del espectador, 83s, 158, 219, 303
tercer mundo (Popper), 148
termodinámica, 191s
termopar, 206, 243
Thomson, J.J., 106, 291, 297, 300s
Thurber, J., 218
traducción, indeterminación de la, 124
Trenn, T., 312
Trevithick, R., 191s
Turner, E., 281

Uhlenbeck, E., 106, 303
ultrasonido, 235
ultravioleta, 207
unidad de la ciencia, 23, 63, 76, 212, 239s, 247

van Fraassen, B., 47, 61, 65, 68s, 72, 73, 84, 87, 103, 119, 170, 198, 214, 217s, 232, 237s, 249s, 267s
velocidad del sonido, 91, 109
verdad
  aproximación a la, 34
  sustituto de la, 80s, 137–157
  teoría correspondentista o copista de la, 35, 77, 121, 138, 144, 154, 161
  teoría representacional de la, 161
Verdet, M.E., 240
verificación, 21, 61, 64, 72
Volta, G., 239

Watt, J., 191s
Weber, M., 58s
Weinberg, S., 296
Wilson, R.W., 187s
Wittgenstein, L., 30, 62, 105, 129, 161, 170–173
Wood, R.W., 185s

Young, T., 184, 206, 240, 283
yucón, 111–113
Yukawa, H., 111–113, 189

Zeiss, C., 224s, 228s
Zolá, E., 44